



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**PRODUKCE DRUHOTNÝCH SUROVIN Z OBECNÍHO
ODPADU**

SECONDARY RAW MATERIALS PRODUCTION FROM MUNICIPAL WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Čeněk Kouřil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Čeněk Kouřil**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Produkce druhotných surovin z obecního odpadu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Produkce druhotných surovin představuje klíčovou část při recyklaci materiálů využitelných komunálních odpadů. Provoz dotřídění komunálních odpadů je však často založen na vysokých a složitých dotacích. Značný podíl vyříděných komunálních odpadů (především plastů ze žlutých popelnic) není v současnosti možné uplatnit na trhu jako druhotnou surovinu. Pro efektivní provoz systému nakládání s odpadem je potřeba důkladně posoudit náročnost a vhodnost různých postupů pro produkci druhotných surovin.

Cíle bakalářské práce:

Identifikace nároků spojených s produkcí druhotných surovin z komunálního odpadu.
Porovnání možností produkce druhotných surovin pro různé přístupy k nakládání jak se separovanými komunálními odpady, tak i se zbytkovým komunálním odpadem.

Seznam doporučené literatury:

Ministerstvo životního prostředí ČR: Plán odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024. Prosinec 2014, dostupné na [www: http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr).

Kim RAGAERT, Laurens DELVA, Kevin Van GEEM: Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management, Volume 69, p. 24-58. 2017.

BEŇO, Zdeněk. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-2-4-4240-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce je podat přehled současného systému nakládání s komunálním odpadem a předvést jeho technicko-ekonomickou náročnost. K vyřešení cílů byl proveden rozbor současného stavu na území ČR a následně vytvořen výpočtový nástroj sloužící k vyhodnocení celkové technicko-ekonomické bilance systému nakládání na regionální úrovni. Výsledky z nástroje ukázaly, že pro obce je finančně nákladné realizovat činnosti spojené s odpadovým hospodářstvím a bez složitých dotací by nebyly realizovatelné. Čtenáři práce se dostane základního přehledu současného systému nakládání s odpady na území ČR a získá znalost jeho dílčích technicko-ekonomických nákladů.

ABSTRACT

The main purpose of the bachelor thesis is to give an overview of the current system of municipal waste management and to demonstrate its techno-economical demands. To solve these objectives, an analysis of the current state in Czech Republic was carried out and a calculation tool was created to evaluate the overall techno-economical balance of the management system at the regional level. The results of the tool showed that it is expensive for municipalities to carry out waste management activities and would not be feasible without complex subsidies. The reader gets a basic overview of the current waste management system in Czech Republic and acquires knowledge of its partial techno-economical costs.

KLÍČOVÁ SLOVA

druhotná surovina, komunální odpad, třídění odpadu, nakládání s odpadem, využití odpadu

KEYWORDS

secondary raw material, municipal waste, waste sorting, waste management, waste recovery

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUŘIL, Č. Produkce druhotných surovin z obecního odpadu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 72 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Produkce druhotných surovin z obecního odpadu* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kropáče, Ph.D. s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 23. 5. 2019

.....
Čeněk Kouřil

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Kropáčovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a cenné připomínky při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své manželce Klárce, rodině a přátelům za podporu během celého studia.
Soli Deo Gloria!

OBSAH

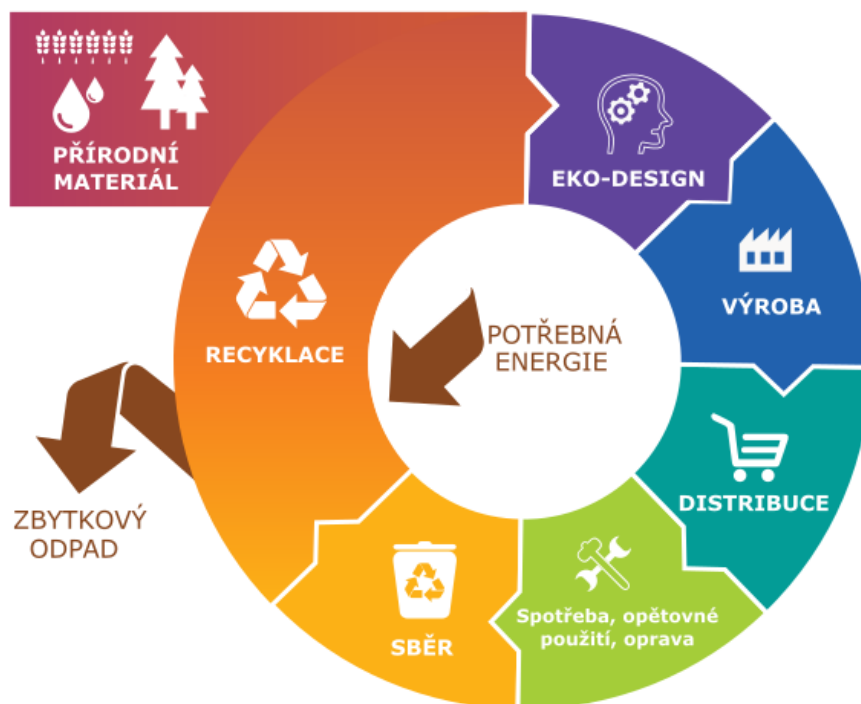
| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ | 17 |
| 2.1 | Legislativa odpadového hospodářství | 17 |
| 2.1.1 | Základní pojmy týkající se odpadového hospodářství | 18 |
| 2.1.2 | Katalog odpadů | 21 |
| 2.1.3 | Hierarchie způsobů nakládání s odpady | 21 |
| 3 | MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU | 23 |
| 3.1 | Logistika odpadu | 24 |
| 3.2 | Technologické možnosti úpravy odpadu | 26 |
| 3.2.1 | Mechanická úprava odpadu | 27 |
| 3.2.2 | Biologická úprava | 27 |
| 3.2.3 | Mechanicko-biologická úprava | 28 |
| 3.2.4 | Provoz dotřídňovacích linek v ČR | 29 |
| 3.3 | Konečné využití/odstranění odpadu | 31 |
| 3.3.1 | Materiálové využití odpadu | 31 |
| 3.3.2 | Energetické využití odpadu | 33 |
| 3.3.3 | Bioplynová stanice | 34 |
| 3.3.4 | Odstranění odpadu | 35 |
| 3.4 | Systém EKO-KOM | 37 |
| 4 | POROVNÁNÍ PŘÍSTUPŮ K NAKLÁDÁNÍ S KO | 38 |
| 4.1 | Produkce odpadu | 39 |
| 4.1.1 | Rozložení složek v KO dle scénářů | 40 |
| 4.1.2 | Množství druhotné suroviny získané z úpravy odpadu | 41 |
| 4.1.3 | Výmět z třídění/dotřídňování | 42 |
| 4.2 | Posouzení možnosti sběru a svozu ve Zlínském kraji | 42 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 4.2.1 | Analýza obcí s rozšířenou působností | 42 |
| 4.2.2 | Produkce odpadu a náklady na svoz v obcích Zlínského kraje | 44 |
| 4.3 | Ekonomické zisky obcí | 48 |
| 4.3.1 | Prodej druhotné suroviny | 49 |
| 4.3.2 | Odměny společnosti EKO-KOM | 49 |
| 5 | ANALÝZA MOŽNOSTÍ NAKLÁDÁNÍ S KO | 52 |
| 5.1 | Předpoklady řešení | 52 |
| 5.2 | Analýza dílčích výsledků | 54 |
| 5.2.1 | Celkové náklady | 58 |
| 5.2.2 | Celkové zisky | 61 |
| 5.3 | Výsledky analýzy | 62 |
| 5.4 | Náměty na navazující práce | 63 |
| 6 | ZÁVĚR | 64 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 65 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 68 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A INDEXŮ | 69 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ | 71 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK | 72 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 73 |

1 ÚVOD

Za poslední století dosáhla lidská populace velkého rozmachu v oblasti průmyslu a technologií. To se spolu se značným zvýšením celosvětového počtu obyvatel projevuje mnohem větší produkcí různých druhů odpadů než v předchozích dobách. Nové technologie výroby a nové materiály nutí k inovaci způsobů nakládání s novými druhy odpadů. Každá země světa řeší své odpadové hospodářství jiným způsobem. V Evropské unii se každoročně vyprodukuje přibližně 2,5 miliard tun odpadu. Obecní odpad, tedy odpad tvořený převážně domácnostmi, tvoří asi desetinu tohoto množství. To znamená, že každý občan v EU ročně vyprodukuje průměrně 482 t komunálního odpadu z kterého polovina nenávratně končí na skládkách. [1]

V České republice se dle Českého statistického úřadu ročně vyprodukuje až 3,5 miliónů tun komunálního odpadu. Dle evropské a české legislativy se blíží zákaz skládkování v ČR, který by nově mohl vejít v platnost roku 2030 [2]. Fakt, že skládkování je v ČR stále dominantním způsobem nakládání s odpady nutí k zamyšlení nad stávajícím stavem odpadového hospodářství v naší zemi a nad jeho nutnými změnami. Aktuálně prosazovaný způsob nakládání s odpady souvisí s vizí tzv. oběhového hospodářství [3], která je znázorněna na Obr. 1.1. V tomto přístupu se místo prvotní suroviny využije surovina druhotná, tedy surovina vzniklá z úprav již vyprodukovaného odpadu, nebo se opětovně použije již vzniklý výrobek. Díky tomu lze prodloužit životní cyklus vytěžených surovin a minimalizovat odpad vznikající při ignoraci jeho možného využití. Toto je v současné situaci velmi důležitý aspekt odpadového hospodářství a legislativa EU i ČR apeluje na jeho dodržování.



Obr. 1.1 Schématické znázornění oběhového hospodářství [4]

Zavádění oběhového hospodářství se zdá být náročnou úlohou. Motivací předkládané práce je proto poskytnout přehled nároků spojených s uplatňováním tohoto způsobu v praxi na krajské úrovni. Ukazuje se, že nákladnost provozu všech zařízení potřebných k aplikaci vize oběhového hospodářství v hospodaření s komunálním odpadem je vzhledem k rozmanitosti materiálů v odpadech z domácností vysoká. V práci bude ukázán postup produkce druhotných surovin, které mohou být znovu uvedeny do procesu. Způsoby produkce nových surovin z odpadu se pro každou jeho složku liší a je nutné zvýšit celkovou efektivitu těchto způsobů. Proto bude provedena technicko-ekonomická analýza stávajícího systému nakládání s komunálním odpadem, která povede k odhadu a porovnání nákladů nakládání s využitelnými složkami separovaného odpadu a zbytkovým směsným odpadem pro různé scénáře na území Zlínského kraje. Pro potřeby této analýzy bude vytvořen výpočtový nástroj, který porovná scénáře různých účinností separace využitelných složek z komunálního odpadu u jeho producentů.

2 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Pojem odpadové hospodářství lze chápat jako kombinaci činností soustředících se na nakládání s odpadem od jeho vzniku až po jeho konečné využití jako druhotné suroviny, jako zdroj energie nebo v horším případě jeho odstranění např. skládkováním či vypouštěním do vodních těles. Nedílnými součástmi odpadového hospodářství je péče o místa, kde je odpad uložen a také činnosti, které jsou zaměřeny na předcházení vzniku odpadu. [5]

V České republice platí vládou schválený Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR) vytvořený Ministerstvem pro životní prostředí (dále jen „MŽP“), který představuje rozsáhlý strategický plán pro dlouhodobé nakládání s odpady. Plán prezentuje tyto čtyři hlavní cíle:

1. *Předcházení vzniku odpadů a snižování měrné produkce odpadů.*
2. *Minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadů a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí.*
3. *Udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“.*
4. *Maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství.* [6]

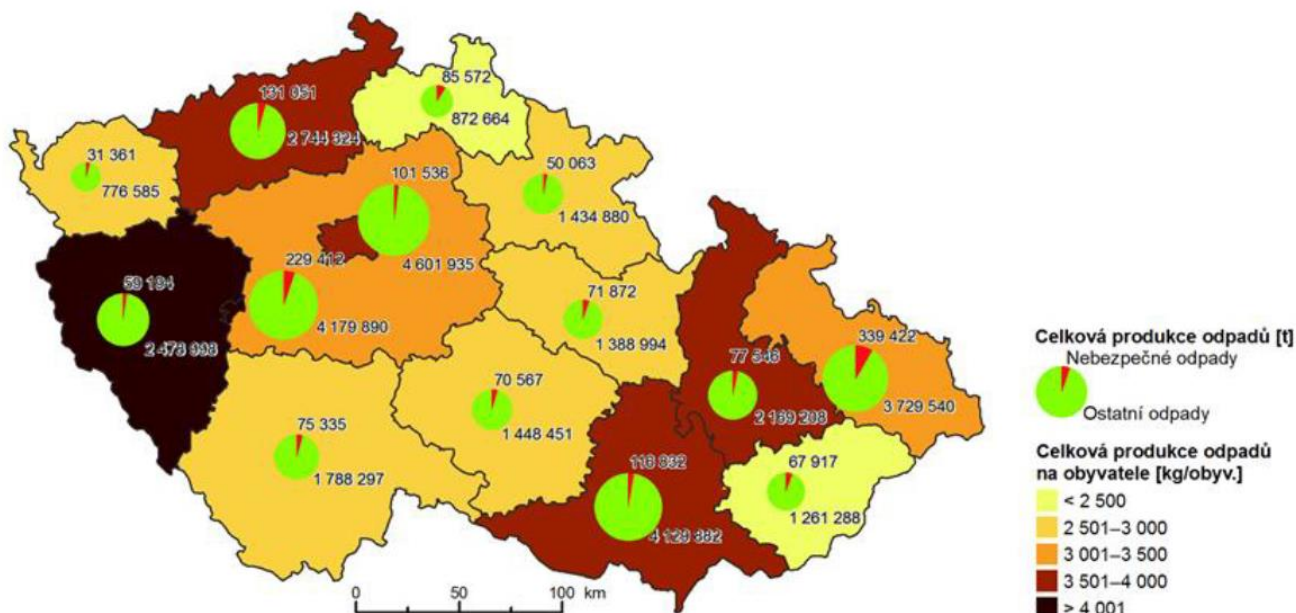
2.1 Legislativa odpadového hospodářství

Problematikou odpadového hospodářství se v českém legislativním prostředí zabývá především MŽP a v současné době je jí věnováno hned několik zákonů, nařízení a vyhlášek, které se odvíjejí od legislativy Evropské unie. V této kapitole nebude proveden detailní rozbor legislativy ČR (ten je možné nalézt např. v [7]), uveden je pouze popis stěžejních pojmů potřebných pro tuto práci. Základní body legislativy jsou uvedeny zde:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic** [8],
- **Zákon č. 185/2001 Sb., ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále jen „zákon o odpadech“)** [5],
- **Vyhláška č. 93/2016 Sb., ze dne 23. března 2016 o katalogu odpadů (dále jen „Katalog odpadů“)** [9],
- **Vyhláška č. 294/2005 Sb., ze dne 11. července 2005 o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (dále jen „vyhláška č. 294/2005 Sb.“)** [10],
- **Zákon č. 477/2001 Sb., ze dne 4. prosince 2001 o obalech a o změně některých zákonů (dále jen „zákon o obalech“)** [11].

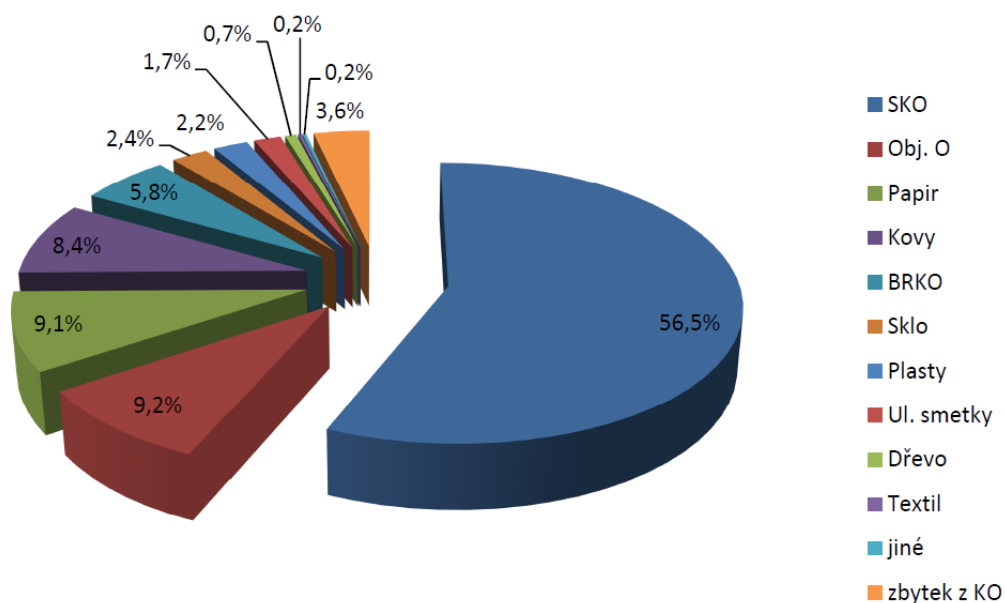
2.1.1 Základní pojmy týkající se odpadového hospodářství

K definici základních pojmů potřebných pro práci bude využito právě výše uvedené legislativy. Jako první se zde nabízí objasnění pojmu odpad. Dle zákona o odpadech zní definice odpadu následovně: „**Odpad** je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“ [5] Na Obr. 2.1 lze vidět celkovou produkci odpadu v jednotlivých krajích ČR:



Obr. 2.1 Celková produkce odpadů v územním členění na kraje v r. 2017 [12]

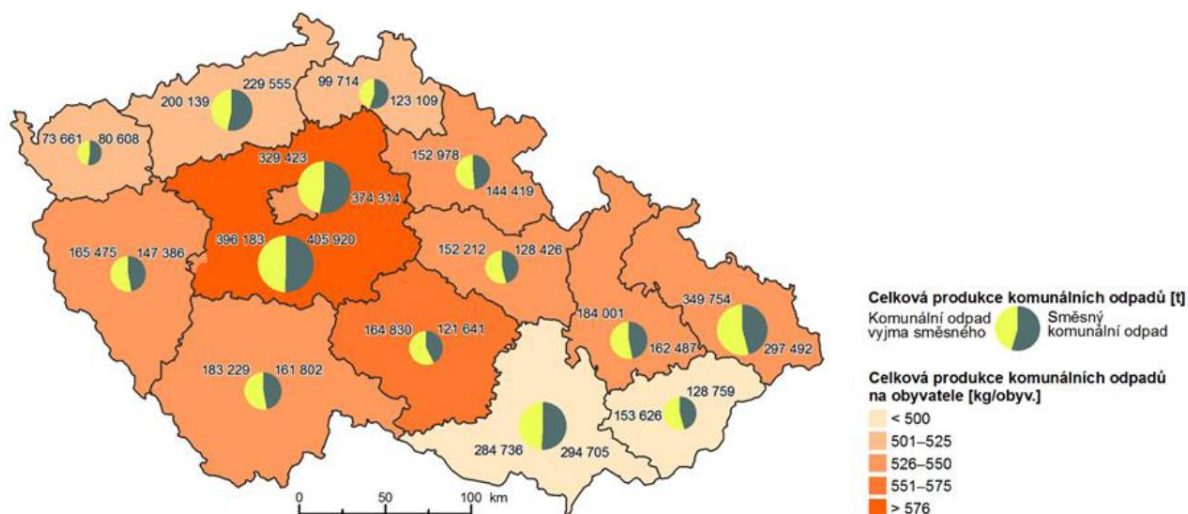
Dalším pojmem, kterým je třeba se zabývat, je komunální odpad (dále jen „KO“). Definici je možné najít ve stejném zákoně: **Komunální odpad** je „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání“. [5] KO je klíčový pojem v této práci, protože je základem pro vytvořený výpočtový nástroj. Z definice plyne, že je to odpad produkovaný fyzickými osobami, tedy odpad nejen z domácností, ale i podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů, které také využívají společný systém sběru s odpady z domácností. K vysvětlení dalších pojmů je vhodné ukázat složení KO, které se nachází na následujícím obrázku.



Obr. 2.2 Přibližné složení KO v roce 2012 z pohledu jeho složek [6]

Největší podíl z produkce KO nabývá **směsný komunální odpad** (dále jen „SKO“). Katalog odpadů popisuje SKO jako zbylou směs nevyužitelných druhů odpadů, která vznikne po vytřídění nebezpečných a využitelných složek. [9] Je to tedy zbytkový odpad, který původce – občan není schopen více vytřídit nebo odpad jednoduše nevytřídí. Z Obr. 2.3 níže je patrné, že na území ČR tvoří SKO přibližně 50 % komunálního odpadu. SKO je možné dopravit na třídící linku, kde z něj část zbývajících využitelných surovin lze vytřídit.

V práci je také častý pojem **nakládání s odpadem**. Tento pojem se může zdát rozsáhlý a pro jeho upřesnění jsou zde uvedeny činnosti, které se za tímto pojmem skrývají. Těmito činnostmi jsou obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů. [5]



Obr. 2.3 Podíl směsného a KO v územním členění na kraje v r. 2017 [12]

Dále bude uvedeno několik dalších pojmů, které definuje zákon o odpadech a jsou v předkládané práci užívány:

- **sběr odpadů** – soustřeďování odpadů právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných osob včetně jejich předběžného třídění a předběžného skladování za účelem jejich přepravy do zařízení na zpracování odpadu,
- **tříděný sběr** – sběr, kdy je tok odpadů oddělen podle druhu, kategorie a charakteru odpadu s cílem usnadnit specifické zpracování,
- **opětovné použití** – postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny,
- **využití odpadů** – činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu tím, že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu, a to i v zařízení určeném k využití odpadů podle § 14 odst. 2, nebo že je k tomuto konkrétnímu účelu upraven; v příloze č. 3 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů využití odpadů,
- **materiálové využití odpadů** – způsob využití odpadů zahrnující recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie,
- **skladování odpadů** – přechodné soustřeďování odpadů v zařízení k tomu určeném po dobu nejvýše 3 let před jejich využitím nebo 1 roku před jejich odstraněním,
- **skládka** – zařízení zřízené v souladu se zvláštním právním předpisem a provozované ve třech na sebe bezprostředně navazujících fázích provozu, včetně zařízení provozovaného původcem odpadů za účelem odstraňování vlastních odpadů a zařízení určeného pro skladování odpadů s výjimkou skladování odpadů,
- **odstranění odpadů** – činnost, která není využitím odpadů, a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie; v příloze č. 4 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů odstranění odpadů.

2.1.2 Katalog odpadů

Katalog odpadů je dokumentem, který slouží k popisu a rozdělení druhů odpadu. Katalog odpad popisuje kódem, který reprezentuje původ vzniku odpadu – nepředstavuje přímo složení ani vlastnosti odpadu (výjimkou je skupina nebezpečný odpad). Obsahuje také návod pro zařazování odpadu dle Katalogu odpadů a náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností (dále jen „ORP“) pro zmíněné zařazení. [9] Tato práce je zaměřená výhradně na nakládání s odpady komunálními, které se řadí do skupin 15 „Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené“ a 20 „Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru“. V Tab. 2.1 je uveden krátký přehled zařazení složek KO řešených v práci v Katalogu odpadů.

| Složka v KO | Kód dle Katalogu odpadů |
|-------------------------------|-------------------------|
| Papírové a lepenkové obaly | 15 01 01 |
| Plastové obaly | 15 01 02 |
| Skleněné obaly | 15 01 07 |
| Kovové obaly | 15 01 04 |
| Papír a lepenka | 20 01 01 |
| Plasty | 20 01 39 |
| Sklo | 20 01 02 |
| Kovy | 20 01 40 |
| Biologicky rozložitelný odpad | 20 02 01 |
| Směsný komunální odpad | 20 03 01 |

Tab. 2.1 Výběr z katalogu odpadů pro potřeby práce [9]

2.1.3 Hierarchie způsobů nakládání s odpady

Zákon o odpadech nařizuje, aby se v rámci odpadového hospodářství dodržovala tzv. hierarchie způsobů nakládání s odpady. Hierarchie vyjadřuje vhodnost určitých způsobů nakládání s různými skupinami odpadu (např. KO a SKO), se kterými je možno nakládat více způsoby v hierarchii uvedenými. V následující kapitole bude tato hierarchie uplatněna při identifikaci potřeb pro nakládání s odpadem. Pasáž v zákonu o odpadech zní následovně:

- 1) *V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována tato hierarchie způsobů nakládání s odpady:*
 - a) *předcházení vzniku odpadů,*
 - b) *příprava k opětovnému použití,*
 - c) *recyklace odpadů,*
 - d) *jiné využití odpadů, například energetické využití,*
 - e) *odstranění odpadů.*

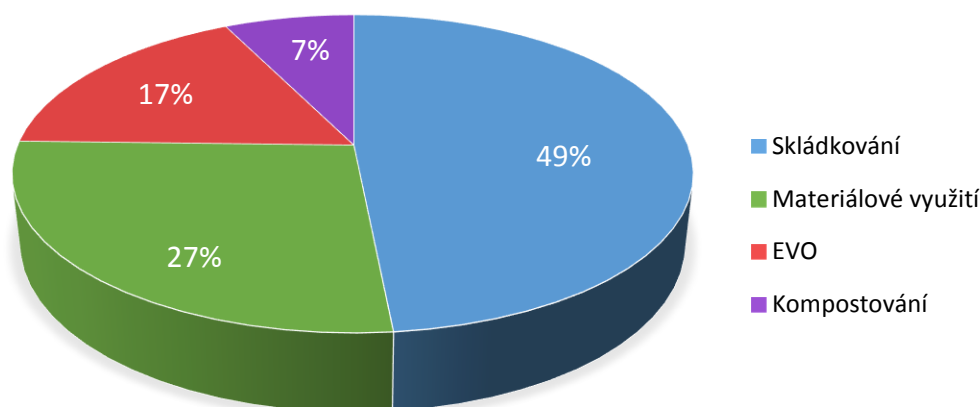
- 2) *Od hierarchie způsobů nakládání s odpady je možno se odchýlit v případě odpadů, u nichž je to podle posouzení celkových dopadů životního cyklu zahrnujícího vznik odpadu a nakládání s ním vhodné s ohledem na nejlepší celkový výsledek z hlediska ochrany životního prostředí.*
- 3) *Při uplatňování hierarchie se zohlední:*
- a) celý životní cyklus výrobků a materiálů, zejména s ohledem na snižování vlivu nakládání s odpady na životní prostředí a lidské zdraví,*
 - b) technická proveditelnost a hospodářská udržitelnost,*
 - c) ochrana zdrojů surovin, životního prostředí, lidského zdraví a hospodářské a sociální dopady. [5]*



Obr. 2.4 Hierarchie způsobů nakládání s odpady

3 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU

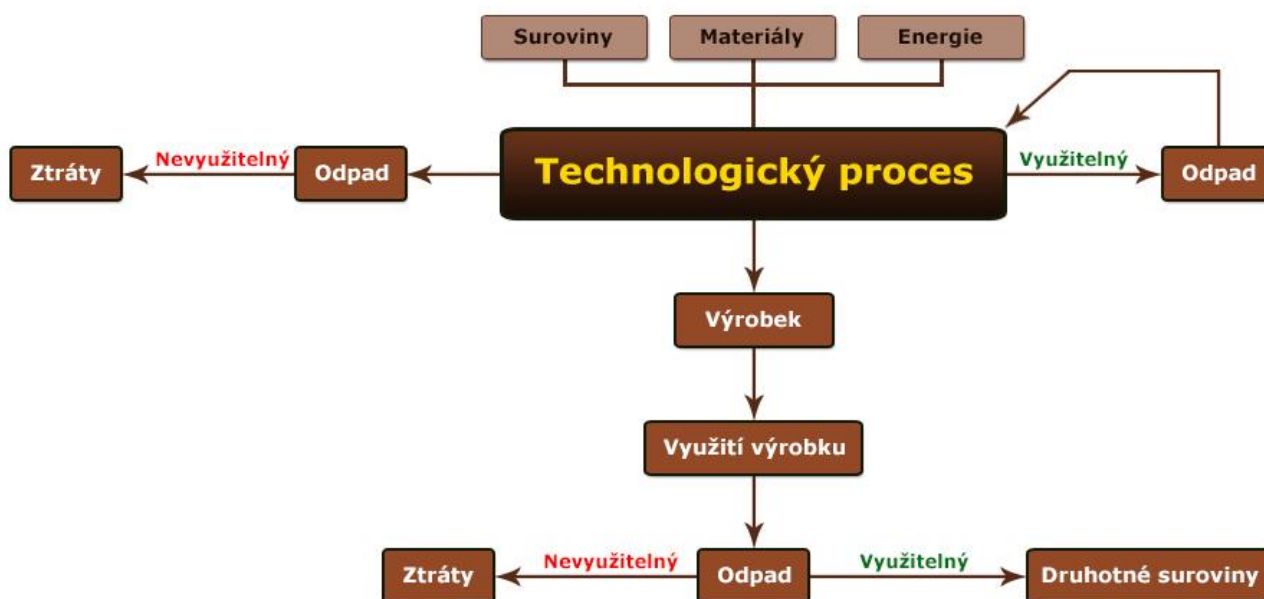
Způsobů, jak se vypořádat s KO, je značné množství. Tím v současné době nejčastějším a nejméně vhodným způsobem je odstranění odpadu skládkováním. Ten prozatím v mnoha státech EU dominuje. [1] Skládkování je v případě separovaného KO a SKO nevhodné např. kvůli jejich negativním dopadům na životní prostředí a nevyužitému materiálovému či energetickému potenciálu. Skládkování však může být vhodným způsobem odstranění v případě inertního materiálu (písek, štěrk, jíl atd.). Dalšími způsoby, kterými lze KO zpracovat, jsou primárně materiálová recyklace, spalovny odpadů, energetické využití odpadů (dále jen „EVO“) a jiné. Na Obr. 3.1 je znázorněna přibližná aktuální situace nakládání s KO v České republice.



Obr. 3.1 Nakládání s komunálními odpady v roce 2017 [13]

Prioritním krokem při nakládání s odpady za účelem předcházení jeho vzniku by měl být systematický proces návrhu a způsobu výroby a distribuce daného produktu. Tento návrh klade důraz na minimalizaci negativního dopadu produktu na životní prostředí při současném zachování dané funkčnosti, bezpečnosti, estetiky a dalších vlastností výrobku a celého technologického procesu. Toho lze docílit několika způsoby – např. vhodnou volbou materiálu a návrhem nízkoodpadové výrobní technologie, při které je vzniklého odpadu použito jako paliva nebo jiný prostředek pro energetickou recyklaci (Obr. 3.2).

Tato práce je zaměřená primárně na komunální odpad, který majoritně pochází z domácností a od občanů. Zde je na místě vhodné spotřebitelské chování, které zohledňuje právě celý proces výroby kupovaného produktu a také bere v úvahu jeho možné uvedení zpět do oběhového hospodářství jako novou surovinu. Při uplatňování tohoto je třeba přemýšlet nad celkový dopadem produktů na životní prostředí. Princip vhodného spotřebitelského chování lze aplikovat jak na osobní úroveň, tak i na úroveň státní či celosvětovou.



Obr. 3.2 Schéma nízkoodpadové technologie [14]

3.1 Logistika odpadu

Odborná literatura definuje logistiku jako „vědní obor, jehož předmětem je plánování, realizace, řízení a kontrola integrovaných toků hmot (včetně biologických objektů), energií a informací v systémech“. [15] Prvním zřejmým problémem, který se týká logistiky odpadů vyprodukovaných na komunální úrovni, je samotný **sběr** tohoto odpadu. Sběr odpadu má dvě funkce – udržování pořádku, zdraví, hygieny a současně slouží jako prostředek k možnostem zpětného odběru již vyprodukovaného materiálu, který je možné následně znovu využít.

Dominují dva druhy sběru odpadu. Těmito druhy jsou:

- odvozový způsob sběru, tzv. „door-to-door“ systém,
- donáškový způsob sběru.

Door-to-door systémem se myslí takový způsob sběru, kdy popelářské auto zastavuje u každého domu zvlášť a sbírá využitelný komunální odpad ze sběrných nádob či pytlů náležícím danému domu. Nádoby na separovaný odpad jsou umístěny v nemovitostech, kde nejsou dostupné z veřejného prostranství. Tento systém sběru je také používán pro SKO. Vzhledem k potřebnému počtu obsluhovaných stanovišť sběrných nádob, které musí popelářské auto obsloužit, je tento způsob oproti donáškovému sběru nákladnější.

Donáškový způsob sběru disponuje menším počtem kontejnerů na úkor donáškové vzdálenosti, kterou musí občané k nejbližšímu kontejneru urazit. Tímto způsobem sběr probíhá prostřednictvím sběrných nádob rozlišených pro sběr zvlášť SKO a využitelných složek a obalů nacházejících se v KO. Nádoby se nacházejí na veřejně dostupných místech, kde k nim občané mají neomezený přístup. [16] Tyto nádoby mají nejčastější sběrnou kapacitu 1,1 m³.

Často se pro sběr tříděného odpadu používají i větší, např. polyethylenové nebo sklolaminátové nádoby s kapacitou 1,5-4 m³. Umístění sběrných nádob může být také provedeno způsobem podzemních kontejnerů, které nabízí větší kapacitu (3-5 m³), avšak za cenu vyšších investičních výdajů, které také zahrnují nákladné stavební práce.



Obr. 3.3 Podzemní kontejnery [17]

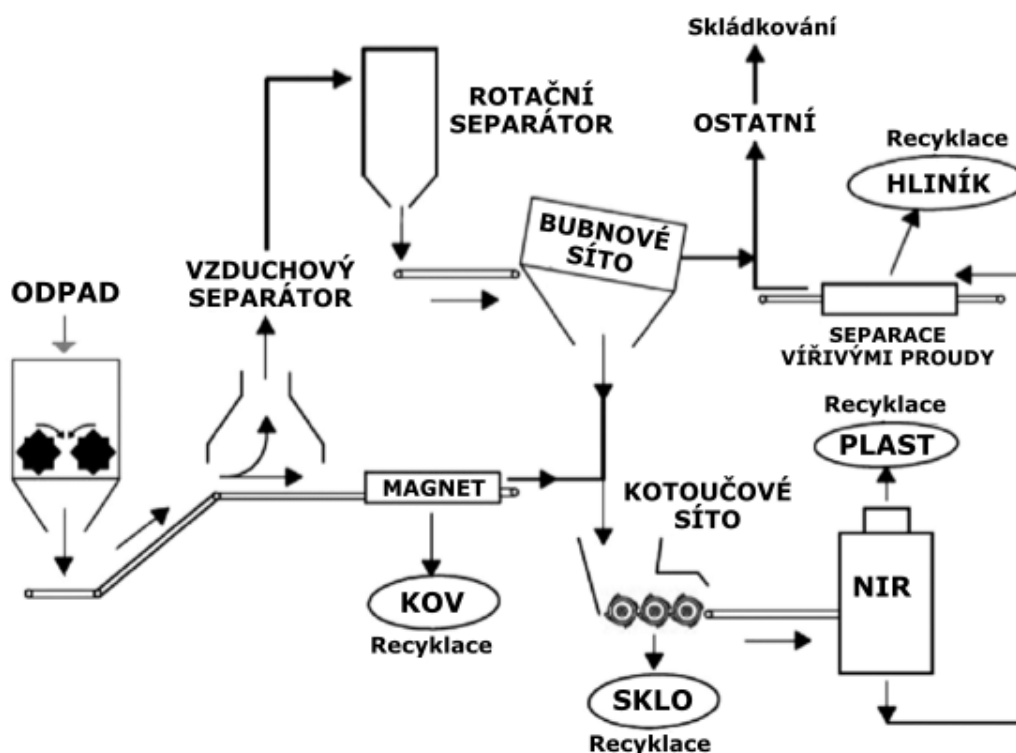
Druhým úkolem, který následuje po sběru odpadu je jeho svoz. Cílem svozového automobilu, který v obci posbíral odpad umístěný v nádobách či pytlech, je přeprava sebraného odpadu na místo určené k dalšímu zpracování. Důležitým faktorem v této fázi může být **překládací stanice**, která slouží k redukci nákladů vynaložených na přepravu odpadu. Na tomto místě dochází k rychlému přeložení odpadu ze svozových automobilů do velkoobjemových kontejnerů. Součástí překládací stanice také bývá lis, který výrazně sníží objem přivezeného odpadu. Po přeložení a slisování odpadu následuje jeho vnitrostátní nebo mezinárodní převoz do dalších zařízení pro úpravu nebo energetické využití odpadu. Pro potřeby např. Olomouckého kraje slouží překládací stanice umístěná v Olomouci, která slouží k přepravě odpadu do brněnského zařízení na EVO. Zákon o odpadech říká, že odpad vyprodukovaný na území ČR se přednostně odstraňuje také v ČR a s určitými výjimkami zakazuje mezinárodní přepravu odpadu za účelem jeho odstranění.

Svazových automobilů pro silniční dopravu, která je na území ČR nejrozšířenější, je více typů. Pro již zmíněný podzemní kontejner je potřeba speciálních vozů určených právě pro manipulaci s těmito kontejnery. Speciálních vozů bývá využíváno i pro obsluhu kontejnerů na separované sklo. Pro klasický donáškový a svozový způsob sběru je využíván svozový automobil vybavený technikou pro manipulaci se sběrnými nádobami. Tzv. KUKA vozy vybavené lisovací nástavbou a manipulační technikou je možno použít pro převoz většího

množství odpadu v průběhu jedné cesty. Ve všech případech je možné odpad odvést na překládací stanici, ze které se velkoobjemové kontejnery dopraví pomocí dalších odvozových automobilů určených pro převoz na velké vzdálenosti.

3.2 Technologické možnosti úpravy odpadu

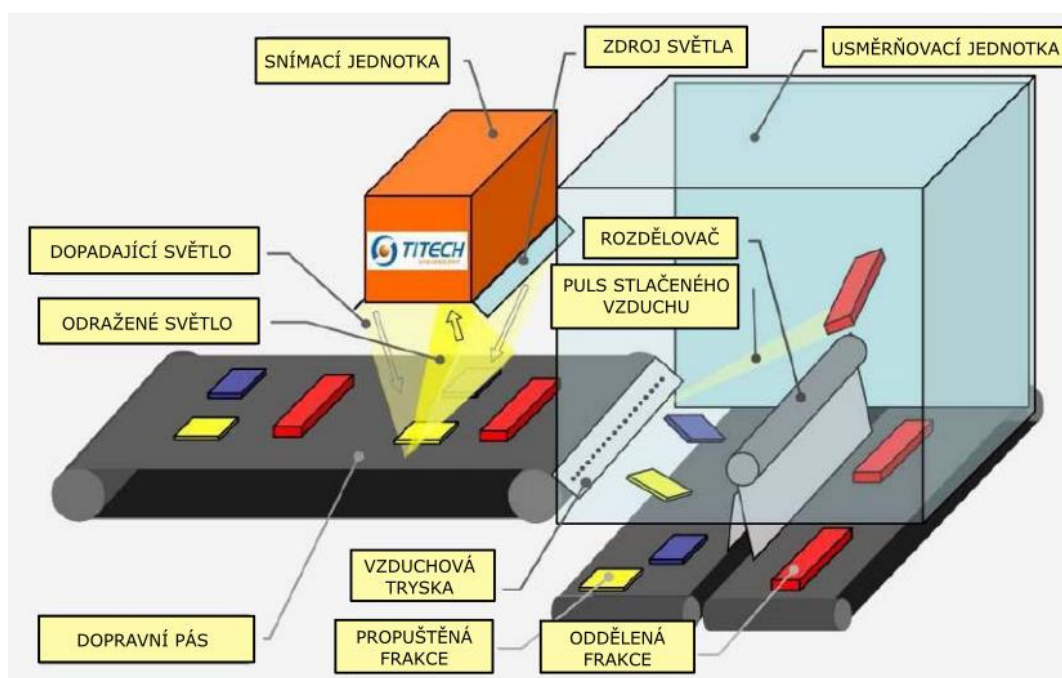
Aby bylo možné uvést vytríděný a svezený odpad znovu do nového spotřebitelského cyklu, je potřeba odpad náležitě upravit. Dle zákona o odpadech je míněnou úpravou odpadu „každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně snížení jejich nebezpečných vlastností“. [5] Možnosti úpravy se pro všechny složky KO liší a nejčastěji slouží k přípravě pro další využití (materiálová recyklace nebo produkce paliv pro energetické využití) nebo za účelem následné dopravy odpadu (lisování pro zmenšení objemu). V analýze přístupů k nakládání s odpady, která následuje v další kapitole, budou řešeny vybrané materiálově využitelné složky KO. Proto zde budou uvedeny příklady úprav používaných právě pro tyto složky KO. Tyto složky jsou následující, kde biologicky rozložitelný komunální odpad je označen BRKO.



Obr. 3.4 Schéma automatizované třídící linky [18]

3.2.1 Mechanická úprava odpadu

Mechanická úprava znamená změnu jeho objemu nebo počtu jeho využitelných složek. Tento způsob úpravy odpadu v sobě zahrnuje hned několik činností. Těmito činnostmi jsou třídění dle fyzikálních či chemických vlastností materiálu na třídících linkách nebo skrze prosévání (vibrační, bubnové, rotační), mletí, drcení, lisování apod. Výstupem těchto procesů jsou připravené suroviny, které je možné použít ke zpracování v dalších zařízeních pro již specifickou složku odpadu. Třídění může probíhat ručně i automaticky. Pro separaci neželezných kovů z odpadu lze například využít již separátory, jejichž funkce je založená na principu vířivých proudů. Činnost tohoto zařízení spočívá v krátkodobém zmagnetizování vodivých částic, které jsou následně odpudivými silami odděleny od hlavního toku odpadu, viz Obr. 3.5. Tento fyzikální princip se také využívá například u nedestruktivních zkoušek materiálů. S nástupem těchto nových technologických principů je snaha o automatizaci a digitalizaci třídících linek. Na těchto linkách je poté bylo možné (pomocí gravitačních, vzduchových, pneumatických, balistických, magnetických nebo optických NIR separátorů [19]) odpad automaticky roztřídit bez nutnosti ručního třídění, a to i v případě vynechání předchozích kroků separace. Schéma takové automatizované linky je zobrazeno na Obr. 3.4.



Obr. 3.5 Princip optické NIR separace odpadu [20]

3.2.2 Biologická úprava

Biologická úprava odpadu. Při této úpravě dochází užitím mikroorganismů k biologickým procesům, které vedou ke změně složení a struktury odpadu. Skrze tyto procesy je možné odpad dekontaminovat a snížit jeho konečnou hmotnost či objem. Mezi tyto procesy patří aerobní fermentace a anaerobní fermentace. **Aerobní fermentace** (často nazývána jako **kompostování**) je z dostupných technologií nejjednodušší a nejlevnější. Podmínkou pro efektivní a rychlé kompostování je řízený přívod vzduchu. Tento proces lze popsat jako

samovolnou přeměnu biologického odpadu (rostlinný, potravinářský, organický, odpady z čistících zařízení nebo z domácností), v němž se látky složitější rozkládají na jednodušší skrze aktivitu aerobních bakterií. Produktem aerobní fermentace je kompost využitelný jako náhrada konvenčních minerálních hnojiv nebo prostředek pro rekultivaci půdy či údržbě městské zeleně. **Anaerobní fermentace** se sestává z mnoha fyzikálních, chemických a biologických procesů, při kterých za řízených podmínek a působení anaerobních organismů dochází k rozkladu (tlení) organických látek a produkce bioplynu. Vstupy do anaerobní fermentace mohou být odpady z živočišné nebo potravinářské výroby, organické KO a mnoho dalších. Produktem tohoto procesu je kvalitní hnojivo (tzv. digestát) a současně možnost výroby bioplynu, který je dále použit k výrobě tepelné a elektrické energie klasifikována jako obnovitelná energie. [21]

3.2.3 Mechanicko-biologická úprava

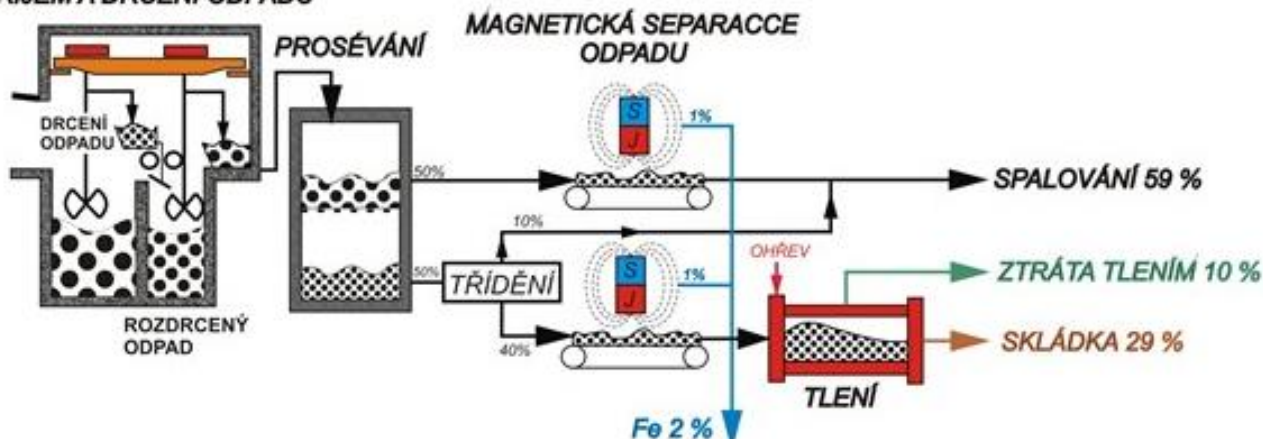
Mechanicko-biologická úprava (dále jen „MBÚ“) odpadu kombinuje principy mechanické úpravy a biologické úpravy odpadu. Toto zařízení se může vyskytovat v různých variantách, např. mechanicko-biologická úprava, biologicko-mechanická úprava nebo mechanicko-fyzikální úprava. MBÚ slouží k úpravě SKO a dělí se na dva stupně. První **mechanický** stupeň slouží k separaci tuhých využitelných složek. Zde se pomocí rotačních, gravitačních, magnetických nebo vzduchových separátorů oddělí lehká frakce (tzv. nadsítná) obsahující spalitelné látky pro EVO (plast, papír, textil atd.). Lehká frakce je materiálově využitelná jako tuhé alternativní palivo (dále jen „TAP“), které klasifikuje norma ČSN EN 15359. Po separaci nadsítné složky vznikne těžká frakce (tzv. podsítná), která představuje biologické látky pro úpravu v dalším **biologickém** stupni. V této fázi se, jak již bylo dříve zmíněno, aerobní či anaerobní fermentací biologický odpad stabilizuje a může být použit pro obnovu půdy nebo jako kompost. Detailní popis technologie MBÚ lze nalézt v [7]. Na Obr. 3.6 je ukázáno možné provedení MBÚ spolu s hodnotami hmotnostních ztrát při jednotlivých operacích. Výsledné produkty MBÚ lze tedy rozdělit na odpady pro:

- materiálového využití (kovy, některé druhy plastů, papíru, kompost),
- energetického využití (TAP pro energetické využití),
- termickou úpravu (nekvalitní a málo výhřevné odpady určené pro spalení),
- uložení na skládku (inertní složka odpad, biologicky stabilizovaná). [21]

V ČR v současné době převládá spíše negativní pohled na použitelnost MBÚ odpadu a v současné době zde žádná obdobná technologie není provozována. V roce 2015 bylo těchto zařízení v Evropě přibližně 490. Největší zastoupení této technologie lze nalézt v těchto evropských zemích, ve kterých byl v poslední době zaveden zákaz skládkování:

- **Německo** – 45 zařízení se zpracovatelským výkonem 5,5 mil. tun ročně,
- **Rakousko** – 16 zařízení,
- **Polsko** – 20 zařízení upravující 10 % KO,
- **Itálie** – více než 100 zařízení – spolu s Německem jsou hlavními zeměmi využívajícími tuto technologii,
- a další. [7]

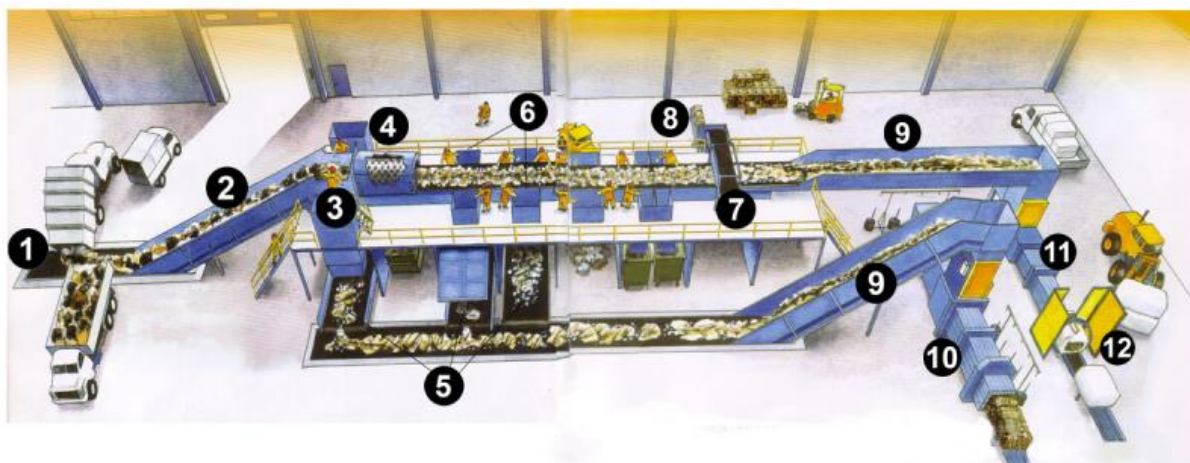
PŘÍJEM A DRCENÍ ODPADU



Obr. 3.6 MBÚ - schéma možného provedení [22]

3.2.4 Provoz dotřídňovacích linek v ČR

Pro úpravu plastu a papíru (někdy i skla) je v České republice typický provoz dotřídňovací linky. Linka se skládá z několika úseků, ve kterých se provádí předtřídění, hlavní třídění (prováděno ručním způsobem), separace zbylých kovů, lisování a balení upraveného materiálu – schéma obvyklého provedení linky je zobrazeno na Obr. 3.7. Cílem těchto linek je získat ze vstupního materiálu co největší množství využitelných druhotných surovin, které je poté možno prodat pro konečné využití.



- | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1) přijímací dopravník | 4) bubnové síto | 7) magnetický separátor | 10) balička netříděného odpadu |
| 2) plnicí dopravník | 5) zásobníkový dopravník | 8) kovový lis | 11) balička tříděného odpadu |
| 3) předtřídňovací stanoviště | 6) třídící stanoviště | 9) plnicí dopravník | 12) balička fólie |

Obr. 3.7 Schéma obvyklého provedení dotřídňovací linky [23]

Aby bylo možné použít sběrný papír v papírnách, je na dotřídňovacích linkách rozdělen dle normy ČSN EN 643 do následujících kategorií:

- **Skupina 1 - Běžné druhy:** směs papírů, lepenek, noviny, časopisy, šedá lepenka, vlnitý papír, krabice, bedny, telefonní seznamy aj.,

- **Skupina 2 - Středně kvalitní druhy:** noviny s obsahem barevného papíru do 5 %, tříděný kancelářský papír, neprodané noviny aj.,
- **Skupina 3 - Vysoce kvalitní druhy:** odřezky tiskových papírů světlých barev, knihařské odřezky, bělená lepenka, silně potištěná vícevrstvá lepenka aj.,
- **Skupina 4 - Druhy obsahující sulfátový papír:** vlnitá lepenka s krycí vrstvou ze sulfátového papíru, lepenka s kraftlinem, sulfátové pytle aj.,
- **Skupina 5 - Speciální druhy:** bezdřevé papíry za mokra, lepenkové obaly na tekutiny aj. [21]

Tříděný plastový odpad vzhledem k velkému množství jeho druhů nepopisuje žádná norma. Požadavek na kvalitu separovaného plastu tedy určuje finální zpracovatel. V ČR se plast nejčastěji třídí do těchto kategorií:

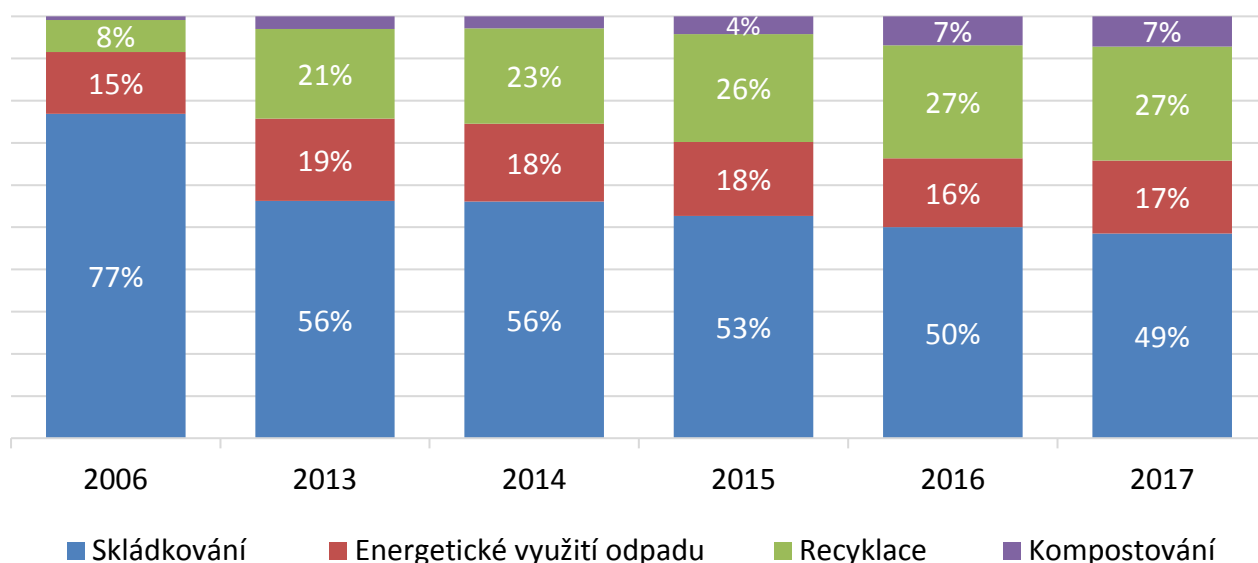
- **PET láhve/obaly:** nápojové obaly nejlépe roztríděné dle barvy (čirá, modrá, zelená, hnědá, žlutá, oranžová) do max. vlhkosti 5 %, mohou obsahovat zbytky nápojů, ale nesmí být znečištěny jinými druhy KO,
- **Duté plastové obaly:** duté plastové předměty do obsahu 5 l z materiálu HDPE, případně PP (lahve, kanystry od nápojů, pochutin, drogistických výrobků a přípravků bytové chemie); neznečištěné nebezpečným a ostatním odpadem,
- **Fólie:** všechny typy fólií (i s potiskem) vyrobených z PE, PP, jejich kopolymerů včetně vícevrstevných fólií (kombinovaných), rozměrů větších než DIN A4, odnosné tašky, pytle všech velikostí, obaly pro nejrůznější účely, smršťovací fólie a výrobky z nich; neznečištěné nebezpečným a ostatním odpadem,
- **Polystyren:** všechny typy PS rozdělené dle barev a druhů – tříštivý, pěnový aj.; neznečištěné nebezpečným a ostatním odpadem,
- **Směsný plast:** části obalů a výrobky z pěnového PS, PE a PP. Duté plastové předměty a nádoby do obsahu 5 l, kelímky, vědra, stolní a kuchyňské náčiní z plastů, plastové části hraček, domácích spotřebičů, přepravek a jiných výrobků, plastové výrobky nad rozměr 40 cm (přepravy, obaly, palety aj); nesmí obsahovat kovové, skleněné, keramické předměty, kameny, beton apod., plastové výrobky s kovovými, kabely všeho druhu, plastové materiály černé barvy. [24]

Podle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu z roku 2011 bylo na území ČR provozováno:

- **5** linek na dotřídění pouze **skleněného** KO,
- **12** linek na dotřídění pouze **papírového** KO,
- **16** linek na dotřídění pouze **plastového** KO,
- **81** linek na kombinované dotřídění **papírového i plastového** KO (a případně i nápojových obalů). [24]

3.3 Konečné využití/odstranění odpadu

Možnosti využití odpadů, v případě separovaného odpadu upraveného způsobem popsanými v předchozí kapitole (např. SKO pro energetické využití nemusí být upraven) se pro každou složku odpadu liší. Dříve než budou popsány možnosti využití odpadu pro složky určené výše, je na Obr. 3.8 ukázán přehled vývoje v oblasti využívání odpadů na území České republiky. Zde je možné vidět trend v této oblasti. Projevuje se ve snaze potlačení skládkování odpadu v prospěch jiných metod využití odpadu, a to zejména recyklace, neboli materiálové využití a EVO. Při zpracování BRKO lze také vidět zvýšení jeho využití již dříve zmíněným kompostováním.



Obr. 3.8 Vývoj nakládání s komunálním odpadem v ČR [13]

3.3.1 Materiálové využití odpadu

Aby bylo možné upravený odpad materiálově využít, je třeba jej provést ještě dalšími specifickými úpravami. Tyto úpravy se pro každou složku KO liší. Obecně je odpad upravený způsoby popsanými v předešlé kapitole potřeba zbavit mastnoty, hrubých či jemných nečistot a příměsí. V případě **papíru** – jeho materiálové využití relativně snadný proces a je soustředěno primárně na recyklaci vláken. V tomto procesu je potřeba provést rozvlákňování, zahušťování papíru, dále zesvětlování vlákniny a odstraňování barev. To je doprovázeno následným doplněním plniva, klíždidel a papírenských prostředků. Takto doupřravený papír poté natéká na papírenský stroj, kde je vláknina vysoušena, lisována a kalibrována na požadovanou tloušťku. Výsledkem tohoto procesu může být papír, lepenka nebo karton. Přibližně 50 % domovního odpadu těmito způsoby v současnosti lze přeměnit na druhotnou surovinu a tento proces lze opakovat 4 až 6 krát. Dalšími produkty, které mohou z těchto procesů dokončovací úprav mohou, jsou předměty, které každý z nás používá - např. kancelářský papír, noviny, obaly na vejce, hygienické potřeby, toaletní papír a mnoho dalších. Problém při recyklaci papíru je znečištění provozní vody při již zmíněných chemických procesech. Jelikož je recyklace papíru

snadný proces, jeho druhotné využití stále stoupá. Tím se také v odpadním papíru objevuje stále více nečistot a recirkulace provozní vody se stává náročnější. [21]

Způsobů, jak recyklovat **plast** je více a výsledkem může být výrobek pro stejné použití nebo produkt pro zcela nové použití. V komunálním odpadu se vyskytuje značné množství druhů plastu. Pro potřeby práce budou uvedeny možnosti recyklace pro dva druhy - polyethylentereftalát (dále jen „PET“) a polyvinylchlorid (dále jen „PVC“). Detailněji je problematika plastového odpadu rozebrána v [25]. Odpadní plasty lze uvádět do nového oběhu jako druhotnou surovinu pomocí materiálové (fyzikální) nebo chemické recyklace. Při **fyzikální** recyklaci jsou kladeny nároky na čistotu vstupní suroviny, a navíc je zde požadavek stejného druhu plastu. Jedná se o úpravu plastu v podobě mletí, čištění, tavení, dodání přídatných stabilizátorů, barviv a plniv. Výsledkem procesu je surovina přetvořená na polymer s vlastnostmi blízkými původnímu materiálu. Vhodné je zmínit, že tento způsob recyklace není možný pro všechny odpadní plast, protože některé druhy jsou při opakovaném zpracování náchylné na degradaci. V případě **chemické** recyklace nejsou kladeny vysoké nároky na čistotu odpadu, ale nevýhodou jsou vysoké investiční náklady na technologická zařízení potřebná pro tento typ recyklace. Podstatou procesu je rozložení plastu na produkty o nižší molární hmotnosti a následně jeho zpracování. Výstupem procesu je v porovnání s fyzikální recyklací kvalitnější surovina, která je možná bez výrazných problémů přetvořit na původní polymer stejných vlastností. V Tab. 3.1 jsou uvedeny příklady produktů, které je těmito metodami možné vytvořit. [21]

| Typ odpadu | Druhotná surovina/produkt |
|---------------------|---|
| PET láhve | Drť PET (výroba polyesterových vláken) |
| PVC podlahoviny | Vícevrstvé podlahoviny |
| PVC potrubí | Třívrstvé PVC potrubí |
| Střešní fólie z PVC | Různé typy fólií pro stavební aplikace |
| Ostatní plastový KO | Ploty, profily, palety, chodníky, obrubníky |

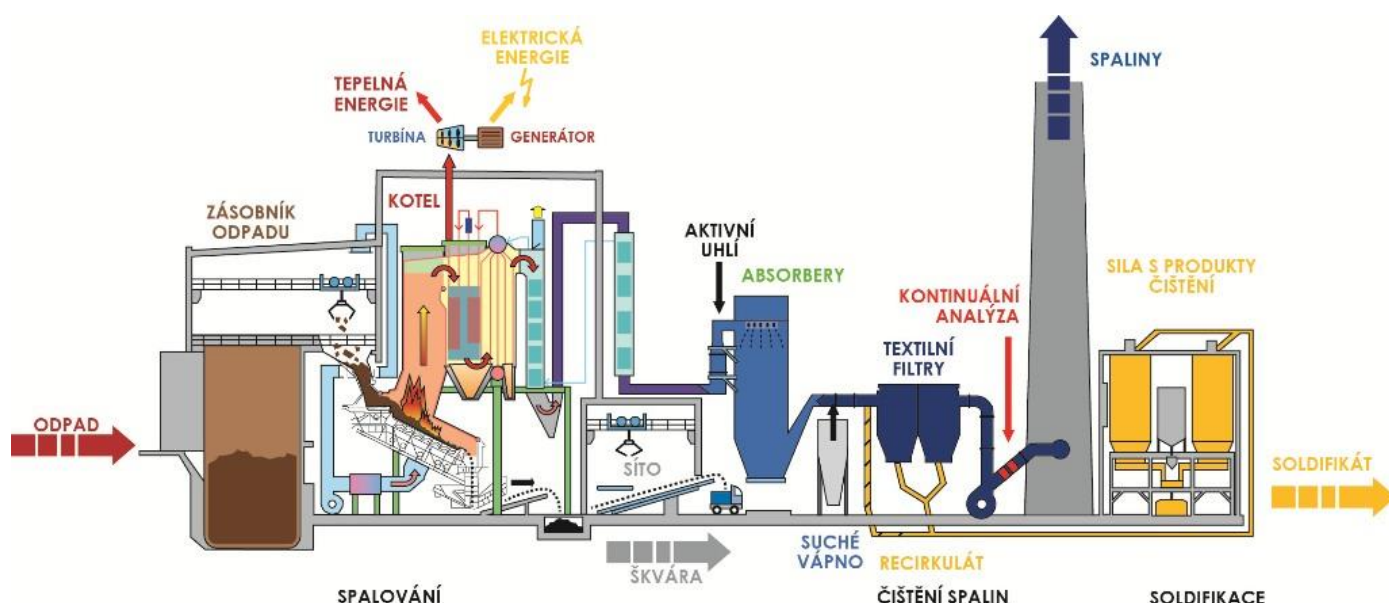
Tab. 3.1 Produkty vyrobené recyklací plastového odpadu [21],[26]

Výhodou využití **skla** je možnost jeho recyklace bez ztrát nebo velkých změn původních vlastností. Kvůli této skutečnosti a navíc tomu, že sklo prakticky není možné využít pro energetické účely (viz Tab. 3.2) a odstranění ve formě uložení na skládku představuje významnou zátěž pro životní prostředí (vzhledem k jeho velmi špatnému až nemožnému rozkladu), je materiálové využití jedinou možností pro skleněný odpad. Nejvýhodnější možností, jak zpracovat skleněný odpad, je dle hierarchie nakládání s odpadem jeho znovuvyužití způsobem vratných obalů. Odpad, který není možné takto vrátit je potřeba dotřídit dle barvy stěrů či složení skla a následně podtrít. Drť je poté přidávána do sklářského kamene a následně přetavena na nový skleněný výrobek, kde může být zastoupena v podobě rovnocenné suroviny až obsahem 100 %. Vzhledem k možnostem recyklace skla patří jeho využití spolu s využitím papíru k nejefektivnějším a nejvíce využívaným. [21]

Poslední složkou KO, u kterého bude popsáno materiálové využití je **kovový odpad**. Náklady pro zpracování upraveného kovového odpadu jsou přibližně čtyřikrát nižší (u neželezných kovů se odhaduje až desetkrát) než náklady pro zpracování kovů z primárních surovin. Základem pro recyklaci kovů je úprava velikosti zrn, kterou doprovází další mechanické úpravy, popsány dříve. Nejvýznamnější složkou vyskytující se v kovovém odpadu je železo, které může být i v podobě oceli nebo litiny. Dalšími významnými složkami jsou hliník, cín a měď. Značnou roli hrají při spotřebě železného odpadu elektrické pece. Objevuje se také trend výstavby minihutí, které pro výrobu oceli zvyšují spotřebu železného šrotu. Litinový odpad určený pro tavbu v kuplovnách je možné použít pro výrobu např. kanalizačních kříží, poklopů či rámců. Velké množství kovového odpadu také pochází ze zpracování autovraků, kde přibližně 75 % hmotnosti vozidla tvoří právě železo, hliník a měď. Výsledkem zpracování kovového odpadu mohou být tedy druhotné suroviny vyšší nebo nižší kvality použitelné k výrobě bloků motorů, převodových skříní, čerpadel, hliníkových plechovek, konzerv a mnoha dalších výrobků. [21]

3.3.2 Energetické využití odpadu

Na Obr. 3.8 lze vidět, že značnou část nakládání s KO představuje EVO. Dle odpadové hierarchie by tomuto využití mělo předcházet vždy využití materiálové. Jestliže není možné odpad využít materiálově, další ekologicky nejvýhodnější možnost představuje právě EVO, které je zároveň významným zdrojem energie. EVO však stále představuje oproti skládkování finančně méně výhodnou variantu. Základem procesu pro energetické využití odpadu je biodegradabilní inertizace (pálení), které (kromě samotného odstranění odpadu) kogenerací vyrábí tepelnou a elektrickou energii. Nutnou podmínkou, aby mohla být spalovna považována za zařízení pro energetické využití odpadu (dále jen „ZEVO“) je splnění podmínky využití odpadu způsobem obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie, a to s dostatečnou mírou energetické účinnosti („energy efficiency“ dle evropské směrnice 2008/98/EC). Průběh procesů v ZEVO je znázorněn na Obr. 3.9. [27],[28]



Obr. 3.9 Schéma zařízení pro EVO [28]

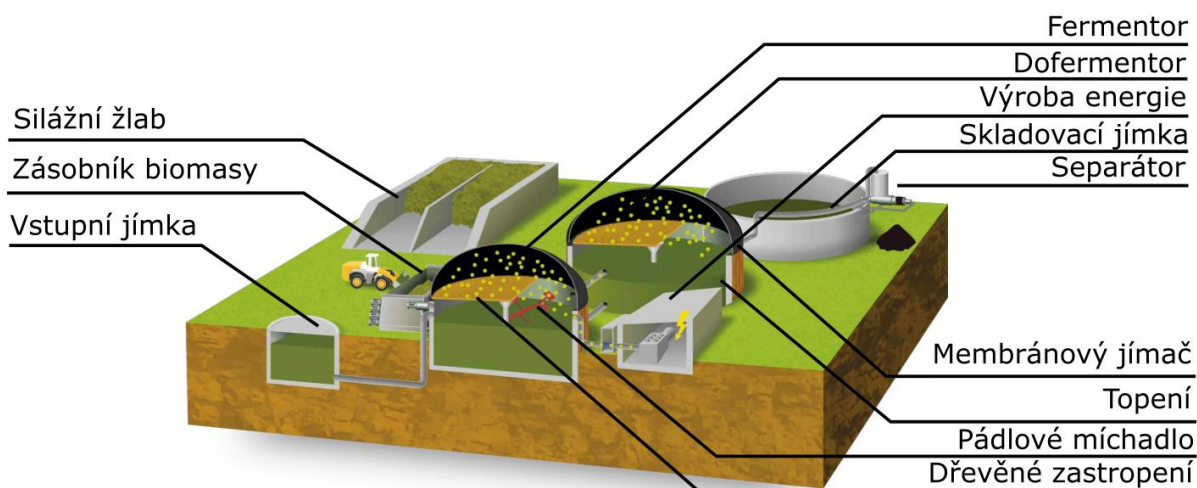
Vsázkou do ZEVO je prioritně odpad v podobě SKO nebo okrajově výmětu nevyužitelných složek odpadu z třídících linek. Obvyklé hodnoty výhřevnosti jednotlivých složek KO a SKO lze vidět v Tab. 3.2. Výstupem, jak již bylo uvedeno, je elektrická a tepelná energie, zbytkové kovy, škvára, spaliny, někdy odpadní voda a popílek z čištění spalin, který se zpracovává solidifikací. Škváru, což je odpadní inertní produkt spalovacího procesu, je po nutných technologických úpravách možné využít pro technické zabezpečení skládek nebo jako stavební materiál. Solidifikát, který vzniká během procesů čištění spalin, se skládá z vápenatých solí, popílku, aktivního uhlí a přebytku reagentů, je nutno uložit na skládku s nebezpečným odpadem. V České republice se momentálně nachází 4 ZEVO, a to v Praze, v Brně, v Liberci a v Chotíkově u Plzně a jejich celková kapacita je 750 tis. tun ročně. Aby bylo možné dodržet závazky vůči EU, bude potřeba tuto kapacitu navýšit o 950 tis. tun ročně. [28],[29]

| Druh odpadu | Výhřevnost [MJ/kg] |
|---------------|-----------------------------|
| Papír | 15,7 |
| Plasty | 22,5–43,4 |
| Textil | 18,3 |
| Potraviny | 3,2 |
| Štěpka, dřevo | 12,4 |
| Sklo | 0,2 |
| Bioplyn | 13,7–27,4 MJ/m ³ |
| SKO | 6,5–12,5 |

Tab. 3.2 Hodnoty obvyklé výhřevnosti složek KO [30],[31],[32]

3.3.3 Bioplynová stanice

Dříve již byla předvedena problematika úpravy BRKO. Nyní bude detailněji popsáno, jak je možné využít produkty vzniklé z těchto úprav. Bioplynová stanice je zařízení, které využívá metodu mokré (obsah sušiny < 14 %) anaerobní fermentace. Stanice zpracovává např. BRKO, čistírenský kal a zvířecí kejdu. Tyto vstupní materiály jsou přes homogenizační jímku dávkovány do fermentorů. Fermentor je kruhová betonová nádrž, kde probíhá míchání, ohřev fermentace substrátu. Zde vzniká již zmíněný bioplyn, který je odváděn do plynojemu. Odsud je bioplyn odváděn do kogeneračních jednotek, kde probíhá výroba tepelné a elektrické energie. Protože bioplyn obsahuje nežádoucí složky, které by mohly poškodit jednotky, je předtím pomocí sušení a odsíření upraven. Schéma bioplynové stanice ukázáno na Obr. 3.10. Druhým produktem bioplynové stanice je digestát, který lze použít jako hnojivo. Bioplynové stanice bývají často součástí zařízení, kde tento odpad vzniká (např. čistírny odpadních vod nebo zemědělské podniky). [21] V České republice je tato technologie velmi rozšířená – současný počet bioplynových stanic v ČR je 574. [33]



Obr. 3.10 Schéma bioplynové stanice agriKomp [34]

3.3.4 Odstranění odpadu

Poslední metodou, která bude v předkládané práci uvedena, je odstranění skládkováním – způsob D1 (viz Obr. 3.11). Zde je vhodné zmínit, že je rozdíl mezi skládkou a skladováním (popsáno v kap. 2.1.1). Vyhláška č. 294/2005 Sb. uvádí technické požadavky na skládky a také podmínky jejich provozu tak, aby bylo co nejvíce ochráněno životní prostředí. V České republice je skládkování stále ekonomicky nejvýhodnější a dominující způsob, jak odpad odstranit (viz Obr. 3.8).

Skládky se dle vyhlášky č. 294/2005 Sb. dělí do podle technického zabezpečení do tří skupin:

- a) skupina *S-inertní odpad* – určená pro inertní odpady (*S-IO*),
- b) skupina *S-ostatní odpad* – určená pro odpady kategorie ostatní odpad (*S-OO*), tato skupina se dále dělí na:
 - (1) *S-OO1* – skládky nebo sektory skládek určené pro ukládání odpadů kategorie ostatní odpad s nízkým obsahem organických biologicky rozložitelných látek, stanoveným v bodě 6 písm. c) přílohy č. 4, a odpadů z azbestu za podmínek stanovených v § 7
 - (2) *S-OO3* – skládky nebo sektory skládek určené pro ukládání odpadů kategorie ostatní odpad včetně odpadů s podstatným obsahem organických biologicky rozložitelných látek, odpadů, které nelze hodnotit na základě jejich vodného výluhu, a odpadů z azbestu za podmínek stanovených v § 7. Na tyto skládky nebo sektory nesmějí být ukládány odpady na bázi sádry,
- c) *S-nebezpečný odpad* – určená pro nebezpečné odpady (*S-NO*).

| Kód | Způsob odstraňování odpadů |
|-----|---|
| D1 | Ukládání v úrovni nebo pod úrovní terénu (například skládkování) |
| D2 | Úprava půdními procesy (například biologický rozklad kapalných odpadů nebo kalů v půdě) |
| D3 | Hlubinná injektáž (například injektáž čerpatelných odpadů do vrtů, solných komor nebo prostor přírodního původu) |
| D4 | Ukládání do povrchových nádrží (například vypouštění kapalných odpadů nebo kalů do prohlubní, vodních nádrží nebo lagun) |
| D5 | Ukládání do speciálně technicky provedených skládek (například ukládání do utěsněných oddělených prostor, které jsou uzavřeny a izolovány navzájem i od vnějšího prostředí) |
| D6 | Vypouštění do vodních těles s výjimkou moří a oceánů |
| D7 | Vypouštění do moří a oceánů, včetně ukládání na mořské dno |
| D8 | sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým ze způsobů uvedených pod označením D1 až D12 |
| D9 | Fyzikálně-chemická úprava jinde v této příloze nespecifikovaná, jejímž konečným produktem jsou sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým ze způsobů uvedených pod označením D1 až D12 (například odpařování, sušení, kalcinace) |
| D10 | Spalování na pevnině |
| D11 | Spalování na moři |
| D12 | Trvalé uložení (například ukládání v kontejnerech do dolů) |
| D13 | Míšení nebo směšování před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením D1 až D12 |
| D14 | Přebalení před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením D1 až D13 |
| D15 | Skladování před odstraněním některým ze způsobů uvedených pod označením D1 až D14 (s výjimkou dočasného skladování v místě vzniku před sběrem) |

Obr. 3.11 Způsoby odstraňování odpadu dle přílohy č. 4 k zákonu o odpadech [5]

Skládkování komunálního odpadu není dlouhodobým řešením problematiky odstranění odpadu, protože dává vznik hned několika problémům. Hlavní z nich jsou:

- výtoky průsakových vod (výluhů) z tělesa skládky,
- vývin skládkového plynu v tělese skládky,
- stabilita tělesa skládky, jeho sedání a splachy,
- prašnost, úlety materiálu a pachy,
- koncentrovaný výskyt hlodavců a ptáků na skládce,
- hluchost z provozu skládky.

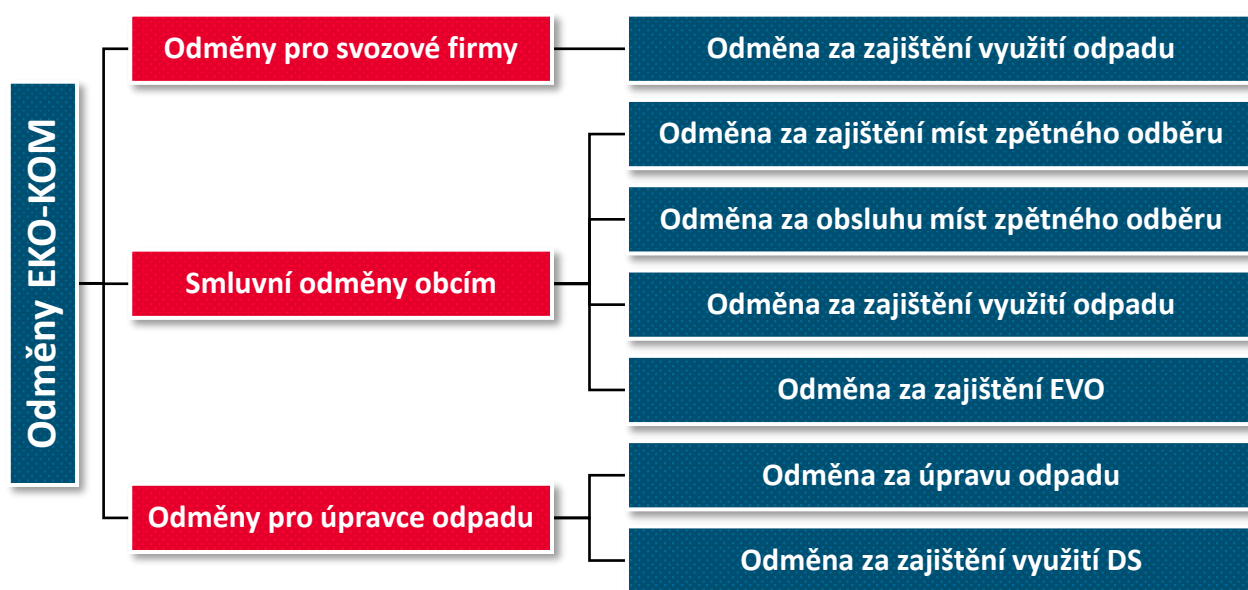
Vzhledem k těmto nepříznivým jevům je potřeba zavést na skládky technologické postupy, které se s nimi vypořádají. Např. výluhy mohou být zpracovány společně s městskými kanalizačními kaly. Také je nutné zavést odplynění skládky kvůli vznikajícímu bioplynu – zde skládkový plyn. Po naplnění skládky a jejího dosažení zeminy konečného tvaru se přistoupí k rekultivaci. Rekultivace skládek obsahuje technické a biologické procesy. Technická rekultivace zajišťuje podmínky vhodné pro další rekultivaci skrze urovnání povrchu, svahování nebo převrstvení ornici. Doprovázející biologická rekultivace zahrnuje tvorbu nové vrstvy půdy na povrchu skládky, kterou je možno následně využít pro zemědělství nebo lesnictví při pěstování rostlin. [35] Současný počet skládek v České republice je 181. [36]

3.4 Systém EKO-KOM

Společnost EKO-KOM je založena průmyslovými podniky vyrábějícími balené zboží. EKO-KOM „zajišťuje sdružené plnění povinností zpětného odběru a využití odpadů z obalů prostřednictvím systémů tříděného sběru v obcích a prostřednictvím činnosti osob oprávněných nakládat s odpadem“. [37] Společnost tedy fyzicky s tříděnými obalovými odpady nenakládá, významně se ale podílí na financování nákladů potřebných pro sběr, svoz a úpravu KO. Systém je založen na následujících povinnostech plynoucích ze zákona o odpadech a obalech:

- osoba (dovozci, plniči, distributoři a maloobchody), která uvádí na trh obal, balený výrobek nebo obalový prostředek, je povinna zajistit zpětný odběr a využití obalových odpadů, [11]
- obce a města mají povinnost shromažďovat, třídit a využívat komunální odpad, jehož součástí jsou také použité obaly. [5]

Efektivita systému je založena na spolupráci s obcemi a městy při zajištění potřebného množství sběrných nádob a jejich obsluhy. EKO-KOM poskytuje podporu pro sběr a separaci. Dále je také finančně podporováno dotřídění odpadu a zajištění jejich opětovného využití. Navíc se zabývá propagací recyklace a zkoumáním složení separovaných KO a SKO. Pro fungování systému je nutné, aby bylo do třídění odpadu zapojeno minimálně 65 % spotřebitelů. Podmínkou pro zapojení občanů je dostatečná sběrná síť. Dle praktických zkušeností společnosti je ověřeno, že jestli donášková vzdálenost přesáhne 400 m, odpad bude třídit pouze 5 % populace. Pro zapojení 65 % populace musí být sběrné nádoby ve vzdálenosti maximálně 150 m od producentů. V současnosti je průměrná donášková vzdálenost menší než 91 m, takže tato podmínka je zajištěna. [38] Finanční podpora systému EKO-KOM se dělí na odměny pro obce, svozové firmy a úpravce odpadu (viz Obr. 3.12). V následující části předkládané práce bude popsán vytvořený nástroj, který zahrnuje výpočet těchto odměn ze systému EKO-KOM. Detailnější popis připsování odměn lze nalézt v práci [25].



Obr. 3.12 Rozdělení odměn EKO-KOM

4 POROVNÁNÍ PŘÍSTUPŮ K NAKLÁDÁNÍ S KO

Účelem závěrečné práce je identifikace nároků spojených s produkcí druhotných surovin z komunálního odpadu. Proto následuje praktická část, ve které je vytvořen nástroj nacházející se v elektronické příloze práce (Příloha 1), pomocí kterého bude provedeno ekonomické zhodnocení nakládání s odpady ve Zlínském kraji na základě předpokladů popsaných v kapitole 5.1. V nástroji vytvořeném v softwaru MS Excel bude provedeno porovnání nákladů při různých účinnostech separace využitelných složek komunálního odpadu u producentů – tedy u občanů. **Scénáře**, které budou v nástroji zpracovány jsou následující:

- **2 %** separace využitelných složek z KO – nebylo zvoleno 0 % vzhledem k praktičnosti úlohy, protože v praxi této hodnoty nebude nikdy dosaženo,
- **25 %** separace využitelných složek z KO,
- **50 %** separace využitelných složek z KO,
- **75 %** separace využitelných složek z KO,
- **98 %** separace využitelných složek z KO – podobně jako u prvního scénáře nebylo zvoleno 100 % kvůli nerealizaci tohoto scénáře.

Scénáře představují **hmotnostní** zastoupení využitelné složky KO, která bude separována producenty – hodnoty těchto účinností separace jsou v jednotkách hm. %. Zbýlé množství využitelných surovin, které nebudou separovány zůstanou v SKO. Celek využitelných složek nacházejících se v separovaném odpadu a SKO dává dohromady **100%**. Pro úplné pochopení – vychází se zde z reálných dat o produkcích KO, která jsou rozpočítávána dle daných scénářů (viz Obr. 4.2). Neboli se zvyšující účinností separace se pouze přesouvá množství využitelných složek z SKO do separovaného odpadu a zbylé množství využitelných složek zůstane v SKO (například – při 25 % míře separace se 25 % využitelných složek KO nachází v separovaném odpadu a 75 % využitelných složek KO se nachází v SKO). Zároveň se předpokládá konstantní čili neměnná produkce celkového KO. Nástroj vyhodnocuje prvky nakládání s KO popsané v předchozí teoretické části práce. V nástroji je proveden detailní rozbor KO a produkce vybraných separovaných složek odpadu dle jednotlivých účinností separace. Nástroj je vytvořen pro práci s následujícími složkami KO:



Obr. 4.1 Vybrané složky KO řešené v práci

Po posouzení produkcí separovaných KO a zbytkového SKO následuje posouzení sběru, svozu a úpravy těchto složek. Úprava odpadu bude mít vliv na množství vyrobené druhotné suroviny, což se projeví dále popsanou výtěžností, a pro vybrané složky bude provedena je následující:

- **papír, plast** – dotřídňovací linka,
- **sklo** – úprava proběhne ve sklárně,
- **kov** – drcení, lisování,
- **BRKO** – upraveno max. síty a poté dopraveno do bioplynové stanice kde z něj bude vyroben kompost,
- **SKO** – v praxi se SKO neupravuje, zde bude za účelem teoretického porovnání možných systémů nakládání s odpady provedeno jeho třídění.

Jak již bylo zmíněno, budou provedeny konkrétní výpočty příjmů v podobě odměn ze systému EKO-KOM a odhady příjmů z prodeje druhotné suroviny. Do nástroje budou zahrnuty náklady na provoz zařízení pro úpravu odpadu a mezd zaměstnanců obsluhujících tato zařízení. Bližší popis bude proveden v kapitole 5.1. V následujících podkapitolách bude proveden popis vytvořeného nástroje a průběh výpočtů, které povedou k celkové ekonomické bilanci.

4.1 Produkce odpadu

Pro realizaci základních výpočtů bylo využito dat, která byla poskytnuta vedoucím práce. Zdroj těchto dat je česká informační agentura životního prostředí CENIA, což je příspěvková organizace MŽP. [39] Tato data obsahují celkovou produkci SKO a separovaných složek KO z ORP Zlínského kraje v tunách za rok vstupující do vztahu (4.1) jako M_{iSEP} . Na těchto datech o produkci odpadu jsou založena data z nástroje JUSTÝNA, které popisují složení SKO na úrovni ORP. Nástroj představuje rekurzivně použitý stochastický matematický model, který je aplikován na území ČR rozděleném na ORP. Nástroj zpracovává dostupná statistická data z různých zdrojů informací, kombinuje je s obecně platnými modely a na mikroregionální úrovni vyhodnocuje spolehlivost těchto modelů. Díky tomuto nástroji lze ověřovat a predikovat budoucí hodnoty množství a výhřevnosti SKO. [40] V této práci je využito dat z nástroje JUSTÝNA k výpočtu složení SKO (M_{iSKO}) ve vztahu (4.1). Konkrétně – zastoupení jednotlivých složek v hmotnostních procentech (w_{iJUST}). Výpočty se nacházejí v Příloze 1 v listu s názvem „Produkce odpadu“ a všechny jsou prozatím řešeny na úrovni ORP. Tato vstupní data byla dodána vedoucím práce. Vztah (4.1) tedy slouží k výpočtu celkové produkce vybraných složek KO na území každé ORP Zlínského kraje.

$$M_{iTOT} = M_{iSEP} + M_{iSKO} = M_{iSEP} + w_{iJUST} \cdot m_{SKO} , \quad (4.1)$$

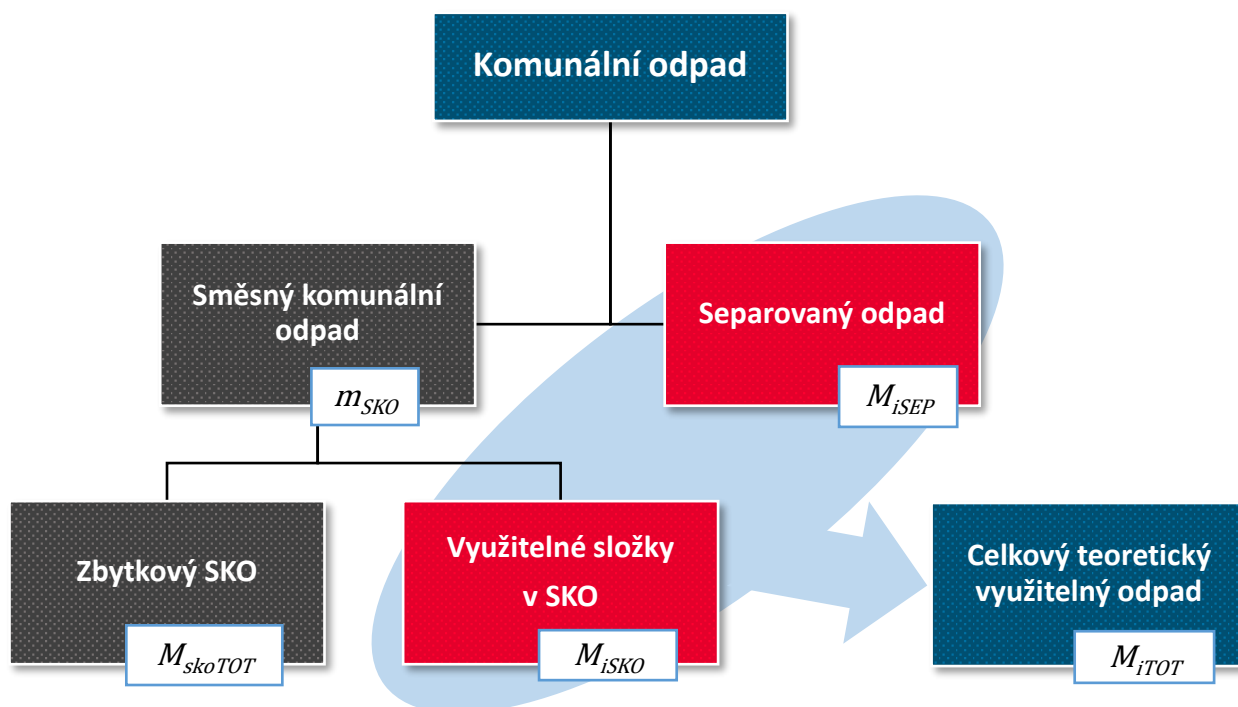
| | | |
|-----|-------------|---|
| kde | M_{iTOT} | celková produkce složky v KO [t/rok], |
| | M_{iSEP} | množství vybrané separované složky (CENIA) [t/rok], |
| | M_{iSKO} | hmotnostní podíl složky v SKO [t/rok], |
| | w_{iJUST} | procentuální zastoupení vybraných složek v SKO (JUSTÝNA) [hm. %], |
| | m_{SKO} | celková produkce SKO (CENIA) [t/rok], |
| | i | složka KO. |

Pro další výpočty bude také potřeba znalost nejen produkce vybraných složek, ale také celkové produkce zbytkového SKO při dodržení předpokladu konstantní produkce KO. Tento

zbytek obsahuje ostatní složky KO, které v této práci řešeny nejsou (např. dřevo, BRKO, textil a jiné). Výpočet popisuje vztah (4.2). Pro úplné pochopení těchto výpočtů, rozdělení KO a výpočtů, které následují v další podkapitole byla vytvořena myšlenková mapa (Obr. 4.2).

$$M_{skoTOT} = \left(1 - \sum_i w_{iJUST}\right) \cdot m_{SKO}, \quad (4.2)$$

kde M_{skoTOT} celková produkce zbylého SKO [t/rok].



Obr. 4.2 Průběh výpočtu složení KO

4.1.1 Rozložení složek v KO dle scénářů

Hlavním cílem této části výpočtu je zjištění množství odpadu, které bude dotříděno a následně využito jako **druhotná surovina** (dále jen „DS“). K tomu budou sloužit vztahy v další podkapitole nástroje. Následující vztahy vypočítají produkovaná množství odpadu, která se dopraví na dotřídovací linku. Tyto vztahy tedy vypočítají množství složek odpadu separovaného producentem, zbylé množství složek v SKO a konečně celkové množství SKO pro jednotlivé zvolené scénáře separace u občanů, které byly popsány dříve. K těmto výpočtům slouží zvolená účinnost, se kterou producent odpad vyseparuje. V prvním vztahu (4.3) bude vypočítáno množství tohoto vyseparovaného KO.

$$M_{iSEP\eta} = M_{iTOT} \cdot \eta, \quad (4.3)$$

kde $M_{iSEP\eta}$ množství vyseparovaných složek KO při dané účinnosti [t/rok],
 η účinnost separace u producenta [hm. %].

Druhý vztah (4.4) slouží k výpočtu zbylého množství jednotlivých složek, které při dané účinnosti nebylo vytříděno a nachází se v SKO.

$$M_{iSKO\eta} = M_{iTOT} \cdot (1 - \eta) , \quad (4.4)$$

kde $M_{iSKO\eta}$ zbylé množství složky v SKO při dané účinnosti [t/rok].

Poslední výpočet (4.5) v této části zahrnuje součet zbytkového SKO a všech nevytříděných složek KO, jejichž množství je spočítáno výše. Vyjadřuje tedy celkové množství vyprodukovaného SKO při dané účinnosti.

$$M_{SKO\eta} = M_{skoTOT} + \sum_i M_{iSKO\eta} , \quad (4.5)$$

kde $M_{SKO\eta}$ celková produkce SKO při dané účinnosti [t/rok].

4.1.2 Množství druhotné suroviny získané z úpravy odpadu

V následujícím kroku bude proveden výpočet množství využitelné druhotné suroviny, která se nachází v separovaném odpadu (4.6), resp. v SKO (4.7) při dané účinnosti separace. Tento proces proběhne v zařízeních pro úpravu odpadu a pro výpočet množství DS je do nástroje v Příloze 1 zavedena tabulka s parametry těchto zařízení.

| Složka | Parametry zařízení pro úpravu odpadu | | | | |
|--------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|-----------|
| | Typ zařízení | Šířka pásu [mm] | Výška vrstvy odpadu [mm] | Rychlost posuvu pásu [m/s] | Výtěžnost |
| Papír | dotřídovací linka | 800 | 100 | 0,1 | 90 hm. % |
| Plast | dotřídovací linka | 800 | 100 | 0,1 | 40 hm. % |
| Sklo | sklárna | - | - | - | 80 hm. % |
| Kov | drtička, lis | - | - | - | 95 hm. % |
| BRKO | bioplyn. stanice | - | - | - | 80 hm. % |
| SKO | třídící linka | 800 | 100 | 0,1 | 33 hm. % |

Tab. 4.1 Parametry zařízení pro úpravu využitelných KO, příp. zbytkového SKO

Zde je zaveden nový parametr **výtěžnosti**, který udává reálné výstupní množství DS z daného zařízení vztažené k vstupní hmotnosti separované složky. Výtěžnost u dotřídovacích linek udává množství papíru, resp. plastu, které je následně materiálově využito. V případě skla a kovu neprobíhá třídění na dotřídovací lince, separovaný materiál je převážen přímo do zpracovatelských závodů. Hodnoty výtěžnosti byly voleny dle doporučení na pracovišti vedoucího práce a vyjadřují ztráty spojené s nečistotami a příměsemi v separovaném odpadním materiálu. Dále výtěžnost bioplynové stanice pro zpracování BRKO představuje množství digestátu, které je možné získat již popsány procesy. Zde se předpokládá úbytek 20 % vstupní hmotnosti, a to především odparem podílu vody v BRKO. Konečně v případě SKO

(Y_{SKO}) se výtěžnost pomocí třídící linky vztahuje k podílu množství využitelných složek, které lze pomocí třídění získat z množství složek obsaženého v SKO, a její hodnota se může lišit – proto je zde volena průměrná hodnota stejná pro všechny využitelné složky SKO.

$$M_{iSEP_DS} = M_{iSEP\eta} \cdot Y_i, \quad (4.6)$$

kde M_{iSEP_DS} množství DS ze separované složky i při dané účinnosti [t/rok],
 Y_i výtěžnost dotřídovací linky pro danou separovanou složku i [hm. %],

$$M_{iSKO_DS} = M_{iSKO\eta} \cdot Y_{SKO}, \quad (4.7)$$

kde M_{iSKO_DS} množství DS složky i z SKO při dané účinnosti [t/rok],
 Y_{SKO} výtěžnost DS teoretickým tříděním SKO [hm. %].

4.1.3 Výmět z třídění/dotřídování

Jelikož není možné využít všechnen odpad, po třídění vzniká „odpad z odpadu“, označován jako **výmět**. Obdobnými vztahy je dopočítáno, jaký je výmět ze složek v separovaném odpadu (4.8), resp. v SKO (4.9) při dané účinnosti separace.

$$M_{iSEP_OUT} = M_{iSEP\eta} \cdot (1 - Y_i), \quad (4.8)$$

kde M_{iSEP_OUT} množství výmětu z dané separované složky při dané účinnosti [t/rok],

$$M_{iSKO_OUT} = M_{iSKO\eta} \cdot (1 - Y_{SKO}), \quad (4.9)$$

kde M_{iSKO_OUT} množství výmětu SKO při dané účinnosti [t/rok].

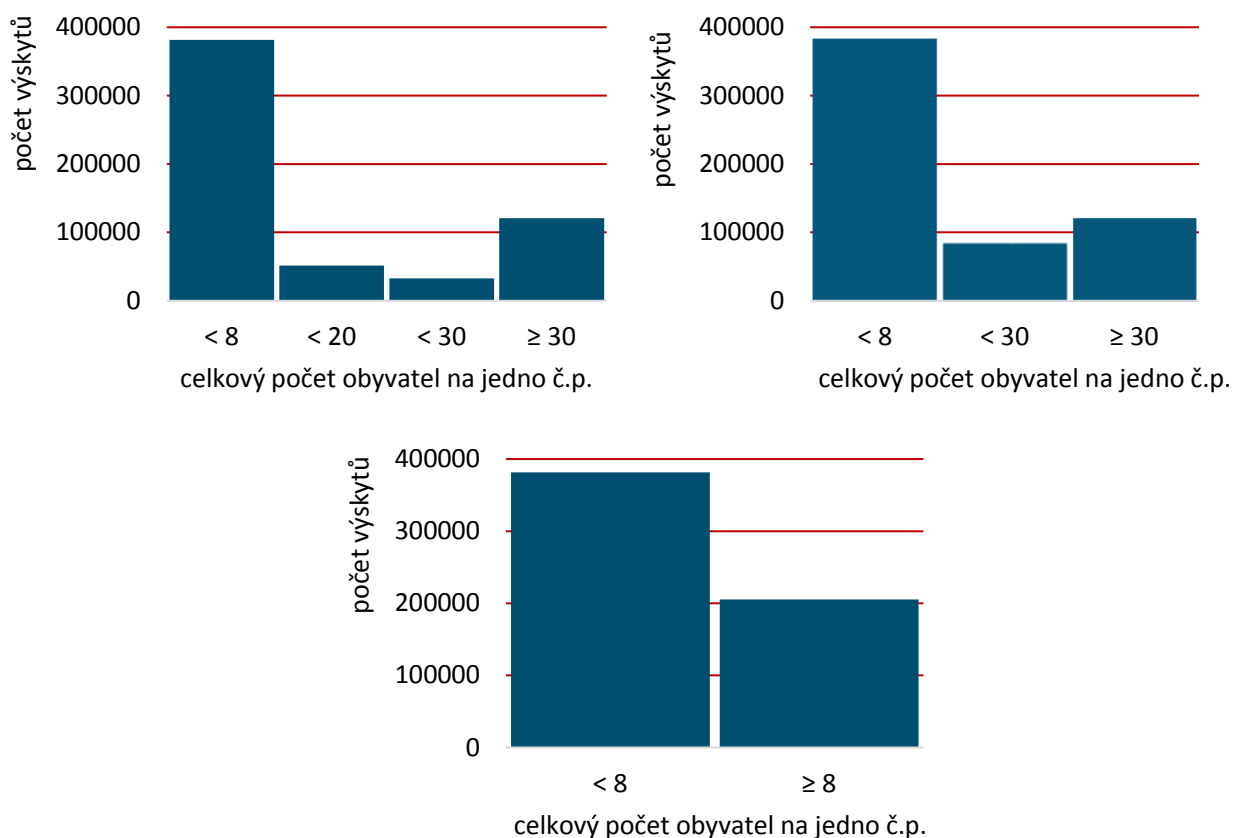
4.2 Posouzení možnosti sběru a svozu ve Zlínském kraji

Účelem nástroje je vyhodnocení provozních a ekonomických nároků na nakládání s vybranými složkami KO na území Zlínského kraje. Pro potřeby ekonomických výpočtů je zásadní složkou znalost svozových nákladů. Ty se opírají o v předešlé části vypočítané hodnoty produkce odpadu a o znalost velikosti území a údajů o populaci kraje. Následující dva listy Přílohy 1 se proto budou věnovat údajům týkajících se právě Zlínského kraje.

4.2.1 Analýza obcí s rozšířenou působností

První list s názvem „Zlínský kraj – ORP“ slouží k zpracování a posouzení údajů o obyvatelstvu na úrovni ORP. Zde se nachází informace o tom, kolik obyvatel bydlí na daném čísle popisném (dále jen „č.p.“). Tyto informace, jejichž autorem je Český statistický úřad, byly poskytnuty vedoucím práce. Výstupem z tohoto listu budou dva údaje, které v další části práce slouží jako podklady pro odhad nákladů spojených se sběrem a svozem KO v jednotlivých scénářích.

Prvním je návrh tzv. **breakpointu**, určený pomocí analýzy dat o počtu obyvatel na jedno č.p. Breakpoint zde představuje vhodnou volbu hraniční hodnoty, která určuje, zda se na daném č.p. nachází jedno až dvou generační rodinný dům nebo dům s větším počtem domácností (bytová jednotka). Tato informace bude užitečná k úvahám nad svozovými náklady, protože lze předpokládat, že druh sběru se liší pro domy pod zvolenou hranicí (svozový) a nad ní (donáškový). Důsledkem bude odlišná přepokládaná nájezdová vzdálenost svozových automobilů a také velikost sběrných nádob. K analýze dat bylo využito histogramů (Obr. 4.3), na kterých lze vidět četnost výskytu počtu obyvatel na jedno č.p. a vhodnost volby breakpointu.



Obr. 4.3 Histogramy rozložení obyvatel

Na základě znázornění pomocí histogramů lze vidět, že počty obyvatel nad 8/č.p. se vyznačují malým počtem výskytů. Bylo předpokládáno, že nemovitost, na které bydlí více jak 8 obyvatel, svým charakterem odpovídá bytové jednotce. Z tohoto důvodu byl jako breakpoint zvolen právě počet **osmi obyvatel na jedno č.p.** a všechny nemovitosti nad tento počet lze sloučit a považovat za bytovou jednotku.

Druhým údajem je **hustota zalidnění**. Pro její výpočet slouží jednoduchý vztah (4.10):

$$H_{ORP} = \frac{N_{ORP}}{S_{ORP}}, \quad (4.10)$$

kde H_{ORP} hustota zalidnění ORP [ob./km²],
 N_{ORP} počet obyvatel v ORP [–],
 S_{ORP} rozloha ORP [km²].

V Tab. 4.2 níže lze vidět hodnoty vypočítaných hustot zalidnění na úrovni ORP. Hodnoty se nachází v intervalu přibližně 100 až 300 ob./km². Hodnoty ORP tedy nebylo možné aplikovat jako směrodatné pro odhad nákladů pro svoz odpadu, protože by nepředstavovaly vypovídající výsledky. Vzhledem k této skutečnosti bylo toto zjednodušení odstraněno a práce směřována na úroveň jednotlivých obcí Zlínského kraje.

| Kód ORP | Název ORP | Kraj | Počet obyvatel | Rozloha ORP [km ²] | Hustota zalidnění [ob./km ²] |
|---------|-----------------------|---------|----------------|--------------------------------|--|
| 7201 | Bystřice pod Hostýnem | Zlínský | 15377 | 164 | 94 |
| 7202 | Holešov | Zlínský | 21517 | 133 | 162 |
| 7203 | Kroměříž | Zlínský | 68842 | 499 | 138 |
| 7204 | Luhačovice | Zlínský | 18796 | 178 | 106 |
| 7205 | Otrokovice | Zlínský | 34302 | 112 | 306 |
| 7206 | Rožnov pod Radhoštěm | Zlínský | 35206 | 239 | 147 |
| 7207 | Uherské Hradiště | Zlínský | 85105 | 518 | 164 |
| 7208 | Uherský Brod | Zlínský | 52294 | 473 | 111 |
| 7209 | Valašské Klobouky | Zlínský | 23485 | 259 | 91 |
| 7210 | Valašské Meziříčí | Zlínský | 42158 | 230 | 183 |
| 7211 | Vizovice | Zlínský | 17529 | 146 | 120 |
| 7212 | Vsetín | Zlínský | 65735 | 662 | 99 |
| 7213 | Zlín | Zlínský | 99197 | 350 | 283 |
| Celkem | | | 579543 | 3963 | 146 |

Tab. 4.2 Hustoty zalidnění

4.2.2 Produkce odpadu a náklady na svoz v obcích Zlínského kraje

Výpočet nákladů byl tedy proveden na úrovni obcí. Jelikož byla v práci prozatím zpracována data jednotlivých ORP, bylo potřeba tyto údaje přepočítat pro všechny obce. V tomto druhém listu pod názvem „Produkce odpadu – obce“ jsou tedy zpracované informace o všech obcích, které se ve Zlínském kraji nachází. List je relativně obsáhlý. Obsahuje primárně tyto informace, které zároveň budou sloužit jako vstupní data do **technicko-ekonomického modelu** [41] (dále jen „TE model“, viz níže v této kapitole) pro výpočet svozových nákladů:

- základní údaje obcí kraje,
- produkce odpadu v obcích kraje pro dané účinnosti,
- množství DS v obcích kraje pro dané účinnosti,
- nájezdové vzdálenosti pro separovaný odpad a SKO v obcích pro dané účinnosti.

Nyní bude popsán postup výpočtů pro získání těchto údajů. Vztahy (4.11) a (4.12) jsou použity pro rozpočítání produkce SKO a všech složek KO jednotlivých ORP do všech obcí, které do této působnosti spadají. Parametr využitý k rozpočítání produkce je počet obyvatelstva.

$$M_{iSEP_obec} = \frac{M_{iSEP\eta}}{N_{ORP}} \cdot n_{obec} , \quad (4.11)$$

$$M_{SKO_obec} = \frac{M_{SKO\eta}}{N_{ORP}} \cdot n_{obec} , \quad (4.12)$$

kde M_{iSEP_obec} množství separované složek a SKO v obci Zlínského kraje [t/rok],
 M_{SKO_obec} množství zbylého SKO v obci Zlínského kraje [t/rok],
 n_{obec} počet obyvatel v obci kraje [–],
 $obec$ obec Zlínského kraje.

Stejným způsobem je vztahem (4.13) přepočítáno množství druhotné suroviny získané dotříděním, resp. tříděním.

$$M_{iDS_obec} = \frac{M_{iSEP_DS} + M_{iSKO_DS}}{N_{ORP}} \cdot n_{obec} , \quad (4.13)$$

kde M_{iDS_obec} množství získané druhotné suroviny v obci Zlínského kraje [t/rok].

V následující části nástroje je vytvořen zjednodušený model pro odhad **nájezdových vzdáleností** pro svoz KO ze všech obcí Zlínského kraje. Model byl vytvořen na základě konzultace na pracovišti vedoucího práce a poznatků z předchozích prací na Ústavu procesního inženýrství [41]. Byly konzultovány hodnoty vzdáleností, které odpovídají reálným hodnotám vzdálenosti svozu odpadu. Následně byla vytvořena Tab. 4.3, která sloužila jako základ pro vytvoření rovnic (viz Obr. 4.4) použitých pro odhad těchto vzdáleností. Zde byly zvoleny okrajové hodnoty nájezdových vzdáleností separovaného odpadu odlišné pro každou míru separace s následujícími předpoklady:

- nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad roste lineárně v závislosti na rozloze obce,
- nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad roste při zvyšující se účinnosti separace využitelného odpadu.

Dále bylo zvoleno procentuální navýšení nájezdové vzdálenosti pro svoz SKO oproti již vzniklé hodnotě nájezdové vzdálenosti pro SKO s vyšší mírou separace. Základem pro odhad tohoto navýšení je zde nájezdová vzdálenost SKO pro 98 % míru separace, která je 15 % navýšením nájezdové vzdálenosti pro separovaný odpad při 98 % míře separace. Jinými slovy – nájezdová vzdálenost pro SKO při 98 % účinnosti separace byla vypočítána pomocí nájezdové vzdálenosti pro separovaný odpad při 98 % účinnosti, a to jejím navýšením o 15 %. Od téhle hodnoty se následně odvíjejí hodnoty nájezdových vzdáleností SKO pro nižší míry separace. Zde jsou předpoklady tyto:

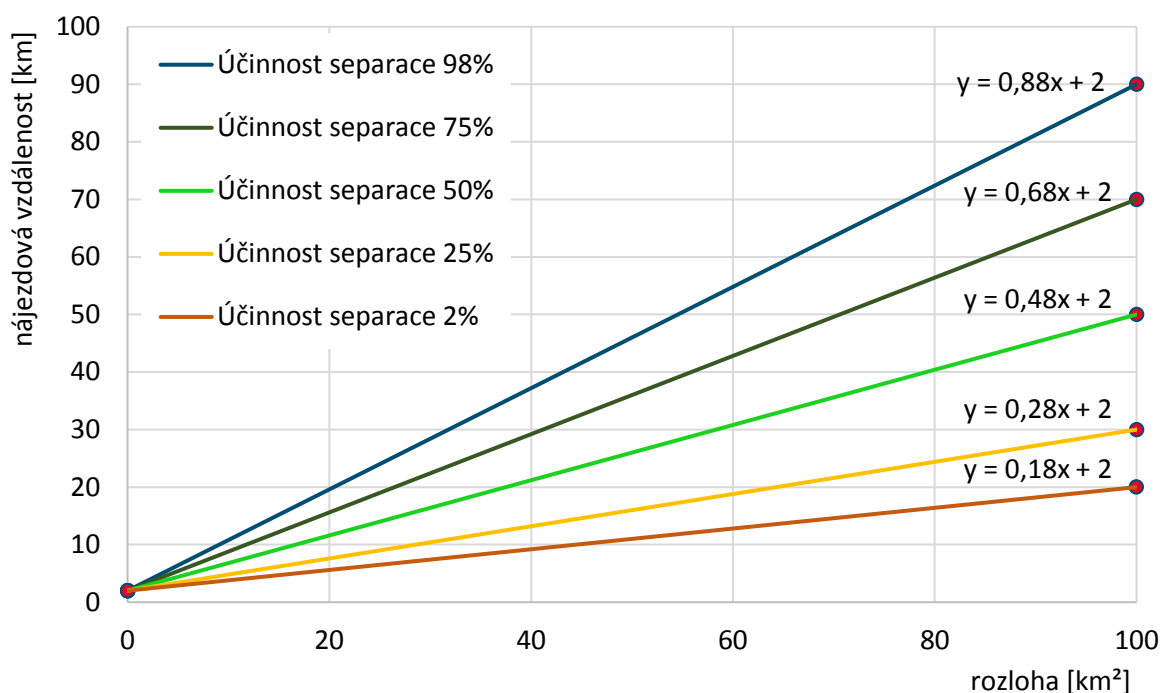
- při nižších mírách separace nárůst nájezdové vzdálenosti pro SKO a to o 5 % z hodnoty nájezdové vzdálenosti při vyšší účinnosti separace,
- hodnota nájezdové vzdálenosti pro SKO je při 98 % účinnosti separace o 15 % vyšší než hodnota nájezdové vzdálenosti pro separovaný odpad při 98 % účinnosti separace.

Prvním krokem byl návrhový výpočet nájezdových vzdáleností pro separovaný odpad. Zde bylo předpokládáno, že tato vzdálenost je totožná pro všechny složky KO. Zjednodušeně řečeno – sběrné nádoby pro odlišné složky se nachází na stejném místě. Výjimkou zde je SKO – ten nabyde jistého navýšení z důvodu větší hustoty rozmístění nádob pro jeho sběr. Pro odhad vzdáleností byl vytvořen zjednodušený graf – Obr. 4.4, který popisuje nárůst nájezdových vzdáleností separovaného odpadu pro každý scénář účinnosti separace. Vytváří lineární závislost nájezdové vzdálenosti v závislosti na rozloze dané obce.

Prvotním návrhovým parametrem pro výpočet vzdáleností byla použita hustota zalidnění obcí. Jelikož však výsledné hodnoty představovaly nereálné hodnoty (pro obce s malou rozlohou nabývaly hodnoty přibližně 200 metrů a pro obce se stejnou rozlohou, ale odlišnou hustotou zalidnění se vzdálenosti lišila až v desítkách kilometrů), byl zvolen vhodnější parametr, a to právě rozloha obce. Výsledné hodnoty již byly použitelné jako vstup do TE modelu (viz popis níže v této kapitole).

| Podklad pro výpočet nájezdových vzdáleností | | | | | | | | | | |
|--|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|----------|-----|
| Účinnost separace | 2% | | 25% | | 50% | | 75% | | 98% | |
| Nájezdová vzdálenost SEP [km] | 2 | 20 | 2 | 30 | 2 | 50 | 2 | 70 | 2 | 90 |
| Rozloha [km ²] | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| Procentuální změna oproti vzdálenosti s vyšší účinností separace | 105% | | 105% | | 105% | | 105% | | 115% SEP | |

Tab. 4.3 Vytvořený model pro odhad nájezdových vzdáleností



Obr. 4.4 Růst nájezdové vzdálenosti sep. odpadu při daných účinnostech separace

V grafu lze vidět, že pro všechny scénáře je průběh růstu popsán lineární funkcí. Pro výpočet nájezdových vzdáleností obcí bylo využito právě těchto funkcí, kde se za proměnnou x dosadí rozloha dané obce. Jako počáteční hodnota byla pro účely výpočtu zvolena vzdálenost 2 km. Výpočet popisuje následující vztah (4.14).

$$L_{SEP_obec} = a_{\eta} \cdot S_{obec} + b, \quad (4.14)$$

kde L_{SEP_obec} nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad v obci [km],
 a_{η} směrnice přímky dané účinnosti separace [km^{-1}],
 S_{obec} rozloha obce Zlínského kraje [km^2],
 b počáteční hodnota nájezdové vzdálenosti [km].

Následoval výpočet nájezdové vzdálenosti pro SKO. Nejprve je zde proveden výpočet pro scénář se separační účinností 98 %. Výpočet se odrážel od vzdálenosti pro separovaný odpad. Pro tento výpočet, který je popsán vztahem (4.15), bylo předpokládáno navýšení vzdálenosti pro svoz SKO o 15 % oproti vzdálenosti pro svoz separovaného odpadu. Pro další scénáře se tato základní hodnota svozu SKO zvyšovala o 5 % oproti předešlé, což je možné vidět ve vztahu .

$$L_{98SKO_obec} = 1,15 \cdot L_{98SEP_obec}, \quad (4.15)$$

kde L_{98SKO_obec} nájezdová vzdálenost pro SKO v obci při 98 % účinnosti separace [km],
 L_{98SEP_obec} nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad v obci při 98 % účinnosti separace [km].

$$L_{SKO_obec} = 1,05 \cdot L_{\eta SKO_obec} , \quad (4.16)$$

kde L_{SKO_obec} zvětšená vzdálenost pro SKO v obci o 5 % oproti vzdáleností s větší účinností separace [km],
 $L_{\eta SKO_obec}$ nájezdová vzdálenost s větší účinností separace [km].

Pro znázornění výsledků je přiložena tabulka s výslednými hodnotami vzdáleností pro několik vybraných obcí.

| | | Nájezdová vzdálenost při dané účinnosti separace u producenta [km] | | | | | | | | | |
|--------------|----------------------------|--|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | | 2% | | 25% | | 50% | | 75% | | 98% | |
| Název obce | Rozloha [km ²] | SEP | SKO | SEP | SKO | SEP | SKO | SEP | SKO | SEP | SKO |
| Zlín | 102,8 | 20,5 | 129,3 | 30,8 | 123,1 | 51,4 | 117,3 | 71,9 | 111,7 | 92,5 | 106,4 |
| Vsetín | 57,6 | 12,4 | 73,7 | 18,1 | 70,2 | 29,7 | 66,8 | 41,2 | 63,6 | 52,7 | 60,6 |
| Kroměříž | 51,0 | 11,2 | 65,5 | 16,3 | 62,4 | 26,5 | 59,4 | 36,7 | 56,6 | 46,9 | 53,9 |
| Luhačovice | 33,0 | 7,9 | 43,4 | 11,2 | 41,3 | 17,8 | 39,4 | 24,4 | 37,5 | 31,0 | 35,7 |
| Uh. Hradiště | 21,3 | 5,8 | 28,9 | 8,0 | 27,6 | 12,2 | 26,3 | 16,5 | 25,0 | 20,7 | 23,8 |
| Spytihněv | 9,7 | 3,7 | 14,7 | 4,7 | 14,0 | 6,6 | 13,3 | 8,6 | 12,7 | 10,5 | 12,1 |
| Komárno | 2,0 | 2,4 | 5,2 | 2,6 | 5,0 | 3,0 | 4,7 | 3,3 | 4,5 | 3,7 | 4,3 |

Tab. 4.4 Hodnoty nájezdových vzdáleností

Dalším krokem bylo zanesení vypočítaných dat do výše zmíněného TE modelu pro výpočet svozových nákladů na pracovišti vedoucího práce. Tímto TE modelem se rozumí „sopsis algebraických rovnic, které jsou uspořádány do vhodné komplexní podoby a na základě kterých lze stanovit ekonomické hodnocení vybrané aktivity při zohlednění okrajových podmínek“ – citaci a více o tomto modelu lze nalézt v [41]. TE model pracuje s dalšími vstupními parametry, jakou jsou např. cena paliva, sypná hmotnost, pracovní doba, mzda, životnost použité techniky atd. Výstupem z modelu jsou roční svozové náklady na jednu tunu dané složky KO, které budou okomentovány v následující kapitole.

4.3 Ekonomické zisky obcí

Je-li cílem nástroje vyhodnocení ekonomických nákladů pro nakládání s KO, zisky jsou neoddělitelnou součástí. V této části nástroje je pro každou obec vyřešeno, jakých zisků může při zohlednění daných předpokladů dosáhnout. Zdroje těchto zisků jsou rozděleny dvou hlavními kategorií, které budou dále popsány:

- prodej druhotné suroviny získané úpravou odpadu,
- dotace společnosti EKO-KOM za nakládání s odpadem.

4.3.1 Prodej druhotné suroviny

Zadáním práce je problematika produkce DS z obecního odpadu. V této fázi nástroje, kdy už je DS získána předešlými úpravami v příslušných zařízeních, je na místě tyto suroviny uplatnit na trhu. K vyhodnocení zisků, které je možné získat prodejem DS, bude sloužit Tab. 4.5 se současnými cenovými sazbami. Ceny se liší dle kvalit a složení dané složky KO, proto zde bylo provedena jistá průměrná volba. Ceny papíru se pohybují v rozmezí 0,2 až 3 Kč/kg (dle druhu papíru – noviny, kartony, lepenka, smíšený papír), proto zde byla zvolena hodnota 1 Kč/kg. Zisk z prodeje plastu se také liší dle druhu materiálu (např. cena za transparentní PET se pohybuje kolem 11,5 Kč/kg, barevný PET 7 Kč/kg a jiné druhy plastu 1,5 Kč/kg). V závislosti na složení plastového odpadu zde byla volena hodnota 1,5 Kč/kg. [25] Totéž platí pro cenu za DS ze skla a kovu. V případě BRKO je zde uvažován pouze zisk z prodeje digestátu, který je získán z kompostáren nebo bioplynových stanic. Tyto ceny se mohou v čase a dle regionu lišit. Volba cen vychází z informací vedoucího práce dle konzultací na třídících provozech. Jednoduchým vztahem (4.17) lze následně vypočítat, jaký bude zisk z prodeje.

| Ceny druhotných surovin [Kč/t] | |
|--------------------------------|-------|
| Papír | 1 000 |
| Plast | 1 500 |
| Sklo | 600 |
| Kov | 2 000 |
| Kompost | 400 |

Tab. 4.5 Zvolené ceny DS použité ve výpočtu

$$Z_{DSi} = C_i \cdot M_{iDS_obec} , \quad (4.17)$$

kde Z_{DSi} zisk z prodeje DS při dané účinnosti separace [Kč/rok],
 C_i cena za danou druhotnou surovinu [Kč/t].

4.3.2 Odměny společnosti EKO-KOM

Odměny systému EKO-KOM, jak bude ve vyhodnocení ukázáno, představují při nakládání s odpadem (zvláště při vyšších účinnostech separace) pro systém nakládání s KO velmi důležitou formu zisku. Přístup k připisování těchto odměn je popsán v kapitole 3.4. V této podkapitole budou prezentovány výpočty, které povedou k výsledným hodnotám odměn ve sledovaných regionech Zlínského kraje. Pro průběh výpočtu byl v nástroji vytvořen list s názvem „EKO-KOM“, ve kterém jsou zpracovány všechny potřebné vstupní údaje týkající se vyčíslení odměn. Zdrojem těchto dat jsou internetové stránky společnosti EKO-KOM, které poskytují veškeré potřebné podklady pro tuto práci. [38] Nejprve budou popsány výpočty **odměn obcím**.

Odměna za zajištění míst zpětného odběru bude první odměnou, pro kterou bude proveden výpočet. Zde je předpokládáno, že každá obec splní požadavek zajištění minimální dostupnosti sběrné sítě, tzn. že zajistí minimální počet sběrných míst. Tento požadavek je

zpracován v Příloze 1 v listu „EKO-KOM“. Díky tomu bude ve vztahu (4.18) připsána bonusová odměna, jejíž navýšení činí 8 Kč na obyvatele za rok.

$$Z_{E1} = (e_{Z1} + e_{B1}) \cdot n_{obec} , \quad (4.18)$$

kde Z_{E1} výsledná částka za zajištění míst zpětného odběru [Kč/rok],
 e_{Z1} základní složka odměny [Kč/ob./rok],
 e_{B1} bonusová složka odměny [Kč/ob./rok].

Odměna za obsluhu míst zpětného odběru pracuje pouze s obalovou složkou vytríděného odpadu. Proto je potřeba do nástroje zavést Tab. 4.6, která dle standardů složení reguluje množství odpadu, se kterým bude následně počítáno ve vztazích (4.19) a (4.20).

| Standard podílu obalové složky [hm. %] | |
|---|------|
| Papír | 42 % |
| Plast | 70 % |
| Sklo | 99 % |
| Kov | 80 % |
| BIO | - |

Tab. 4.6 Podíl obalů v odpadu– standardní hodnoty dle společnosti EKO-KOM [42]

$$Z_{E2} = w_i \cdot M_{iSEP_obec} \cdot e_{i2} , \quad (4.19)$$

kde Z_{E2} výsledná částka za obsluhu míst zpětného odběru [Kč/rok],
 w_i podíl obalové složky v separovaném odpadu [hm. %],
 e_{i2} odměna pro danou složku v závislosti na velikosti sídla [Kč/t].

Odměna za zajištění využití odpadů z obalů je třetí odměnou a stejně jako předchozí pracuje s regulovaným množstvím separovaného odpadu. K jejímu výpočtu slouží vztah (4.20).

$$Z_{E3} = w_i \cdot M_{iSEP_obec} \cdot e_{i3} , \quad (4.20)$$

kde Z_{E3} výsledná částka za zajištění využití obalů pro obce [Kč/rok],
 e_{i3} odměna pro danou složku odpadu [Kč/t].

Následuje vztah (4.21) pro popis výpočtů **odměn pro svozové firmy**. Do vztahu už nevstupuje regulované množství, což plyne z faktu, že se sváží veškerý separovaný odpad, a nejen jeho obalová složka. Tato odměna je pouze jedna, a to **odměna za zajištění využití odpadů z obalů**.

$$Z_{E4} = M_{iSEP_obec} \cdot e_{i4} , \quad (4.21)$$

kde Z_{E4} výsledná částka za zajištění využití obalů pro firmy [Kč/rok],
 e_{i4} odměna pro danou složku odpadu [Kč/t].

Nyní budou ukázány vztahy pro výpočet **odměn úpravcům odpadu**, což mohou být např. již dříve zmíněné překládací stanice, třídící či dotřídňovací linky, sklárny atd. Prvním z nich je vztah (4.22) pro výpočet **odměny za úpravu odpadů**. Stejně jako v předešlém případě se zde uvažuje celkové množství vyseparovaného odpadu.

$$Z_{E5} = M_{iSEP_obec} \cdot e_{i5} , \quad (4.22)$$

kde Z_{E5} výsledná částka za úpravu odpadu pro firmy [Kč/rok],
 e_{i5} odměna pro danou složku odpadu [Kč/t].

Konečně, **odměna za zajištění zpracování DS vyrobených z odpadů** je poslední odměnou v rámci systému EKO-KOM. Do vztahu (4.23) vstupuje množství DS, které byly vytvořeny ze separovaných odpadů.

$$Z_{E6} = M_{iDS_obec} \cdot e_{i6} , \quad (4.23)$$

kde Z_{E6} výsledná částka za zajištění zpracování DS [Kč/rok],
 e_{i6} odměna za danou složku odpadu [Kč/t].

Diskuze výsledků, porovnání odměn z těchto dvou proudů zisku a použitých předpokladů budou provedeny v kapitole 5.2.2, kde budou též graficky znázorněny.

5 ANALÝZA MOŽNOSTÍ NAKLÁDÁNÍ S KO

V předcházející kapitole byl popsán postup výpočtů použitých ve vytvořeném nástroji. Zde budou na začátku popsány zavedené předpoklady, kterých bylo využito v různých částech výpočtové části. Následuje rozbor dílčích a celkových výsledků. Obsahem následující kapitoly je posouzení a vyhodnocení vypočtených ročních ekonomických nákladů pro systém nakládání s KO při různých mírách separace využitelných složek.

5.1 Předpoklady řešení

Vytvořený nástroj se zabývá nakládání s odpady na území Zlínského kraje. V nástroji je proveden výpočet, který pomocí počtu obyvatel přepočítá celkovou produkci KO na úrovni ORP pro jednotlivé obce Zlínského kraje při různých mírách separace. Při sestavení výpočtu byly z důvodu rozsahu práce a souvisejících výpočtů zvolena některá zjednodušení a předpoklady:

- Jednotlivé scénáře předpokládají stejnou míru separace zároveň pro všechny složky KO.
- Každá obec disponuje vlastním svozovým parkem a firmou, která zajišťuje sběr a převoz KO.
- Dále má také každá obec svá zařízení (třídící linky, bioplynové stanice, sklárny apod.) na úpravu odpadu vyprodukovaného na svém území. Tento předpoklad je, jak se ukáže dále, v nástroji nejvýznamnější, protože se projeví na vysokých nákladech obcí s malou rozlohou a produkcí. V praxi je tento předpoklad použitelný pro města s velkou produkcí a rozlohou (např. Zlín). V případě malých obcí většinou funguje jedna svozová firma, která má na starost svou spádovou oblast zahrnující větší počet obcí. To je pro tyto obce výhodné, protože odpadají pořizovací investice svozového parku a také obsluha automobilů. Totéž platí pro zařízení pro úpravu odpadu. Pro zjednodušení a názornost předdeslané situace však bude dále pracováno s popsáním předpokladem.

Dále je potřeba uvést několik předpokladů týkajících se zařízení pro **úpravu odpadu**:

- První předpoklad je, že výtěžnost (uvedená v Tab. 4.1) zůstává stejná pro všechny míry účinnosti separace. Tento předpoklad v praxi většinou nelze uplatnit, protože se stoupající účinností separace výtěžnost roste. Na druhou stranu při nižších mírách separace je výtěžnost ze třídění menší. Při vyšší účinnosti separace je však také možno předpokládat větší obsah nekvalitních materiálů. Tento předpoklad může být námětem pro vlastní rozsáhlou analýzu, která není předmětem práce. Při užití tohoto předpokladu lze očekávat malý vliv na výsledné hodnoty.

- Podobně, jak již bylo zmíněno dříve, se také předpokládá, že z SKO je možno vytrdit třetinu původních využitelných složek. V ČR nejsou zkušenosti s tříděním SKO, proto je zde tato hodnota volena podle úvahy o struktuře a znečištění SKO a náročnosti jeho třídění. V zahraničí je třídění SKO řešeno pomocí MBÚ popsané v kapitole 3.2.3. Hodnota výtěžnosti zůstává stejná pro všechny složky KO a stejně jako u dotřídňovacích linek se při zvyšování separace nemění. Určitý vliv na výsledky lze očekávat u kovové složky KO.
- Součástí těchto předpokladů je zanedbání obsahu využitelné složky KO v toku jiné složky (např. separovaný papír může obsahovat malé množství plastů či kovů a naopak). Důsledkem by bylo mírné navýšení všech složek a snížení celkového množství SKO, na výsledné zhodnocení však tato skutečnost má jen minimální vliv.

Další předpoklady se týkají samotného **svozu a sběru odpadu**:

- Bylo předpokládáno, že při zvyšující se účinnosti separace bude klesat nájezdová vzdálenost pro SKO, a to za cenu navýšení vzdálenosti pro svoz separovaného odpadu. Pro zjednodušení byl v nástroji předpokládán lineární nárůst nájezdové vzdálenosti pro separovaný odpad (viz Obr. 4.4) a také stejná nájezdová vzdálenost pro všechny separované složky. Pomocí vhodně zvolených koeficientů (popsáno v kap. 4.2.2) bylo následně přepočítáno i navýšení nájezdové vzdálenosti pro SKO, aby hodnoty představovaly reálnou situaci (viz Tab. 4.4). Pro praxi tento předpoklad neplatí, protože vzdálenost svozové trasy se nelineárně mění v závislosti na rozloze dané obce, hustotě zalidnění, městské infrastruktuře, produkce odpadu, počtu a hustotě rozmístění sběrných nádob a dalších faktorů. Také může být odlišná pro každou složku zvlášť.
- V prvotním výpočtu bylo také uvažováno, že pro každou složku KO bude využit speciální svozový automobil (tedy 5 složek KO = 5 vozů). Tento předpoklad bude změněn – důvod bude blíže okomentován níže (viz Tab. 5.3).
- Pro sběr odpadu byla zvolena stejná nádoba pro všechny separované složky i SKO, a to nejvíce používaný kontejner o objemu 1,1 m³. V praxi je však použito více typů kontejnerů. Pro zjednodušení a rozsah řešení bylo užito těchto předpokladů.

Následující předpoklady se budou týkat **dotací ze systému EKO-KOM**:

- Prvním z nich je splnění podmínky zajištění minimální dostupnosti sběrné sítě. Je předpokládáno, že tato podmínka je splněna všemi obcemi, takže dosáhnout bonusové složky odměny v podobě 8 Kč/obyvatel za rok. Pro zajištění tohoto předpokladu byl dle podmínek společnosti v listu „EKO-KOM“ vypočítán minimální počet sběrných nádob pro obce Zlínského kraje pro získání odměny.
- Druhým je předpoklad vzniku veškerého odpadu ve veřejné sběrné síti, který zahrnuje nádobový sběr, pytlový sběr a individuální nádobový sběr.

Zanedbává, že část produkce vstupující do nástroje vzniká ve sběrných dvorech a odběrných místech zařízených obcí nebo výkupnách, mobilním sběrem či dalšími způsoby (např. školní sběry).

- Třetím předpokladem, týkající se odměn svozovým firmám, je cíl předání sebraného odpadu pro jeho využití. Zde je možností využití materiálového, energetického, organického nebo v podobě TAP. Zde bylo uvažováno pouze využití materiálového a zanedbání ostatních, což se s ohledem na jeho nejvyšší ohodnocení projeví kladně v celkových dotacích z tohoto systému.
- Poslední předpoklady se týkají odměn pro úpravce odpadu, zejména dotřídňovacích linek. Je zaveden předpoklad, že všechny obce se účastní systému EKO-KOM a tím mají nárok na „Odměnu za úpravu odpadu pocházejícího z obcí zúčastněných na systému EKO-KOM“. Konečně (podobně jako výše) se předpokládá, že veškeré zpracování odpadu po jeho úpravě na DS bude v podobě materiálového využití, což se znovu projeví kladně na výši obdržенých dotací.

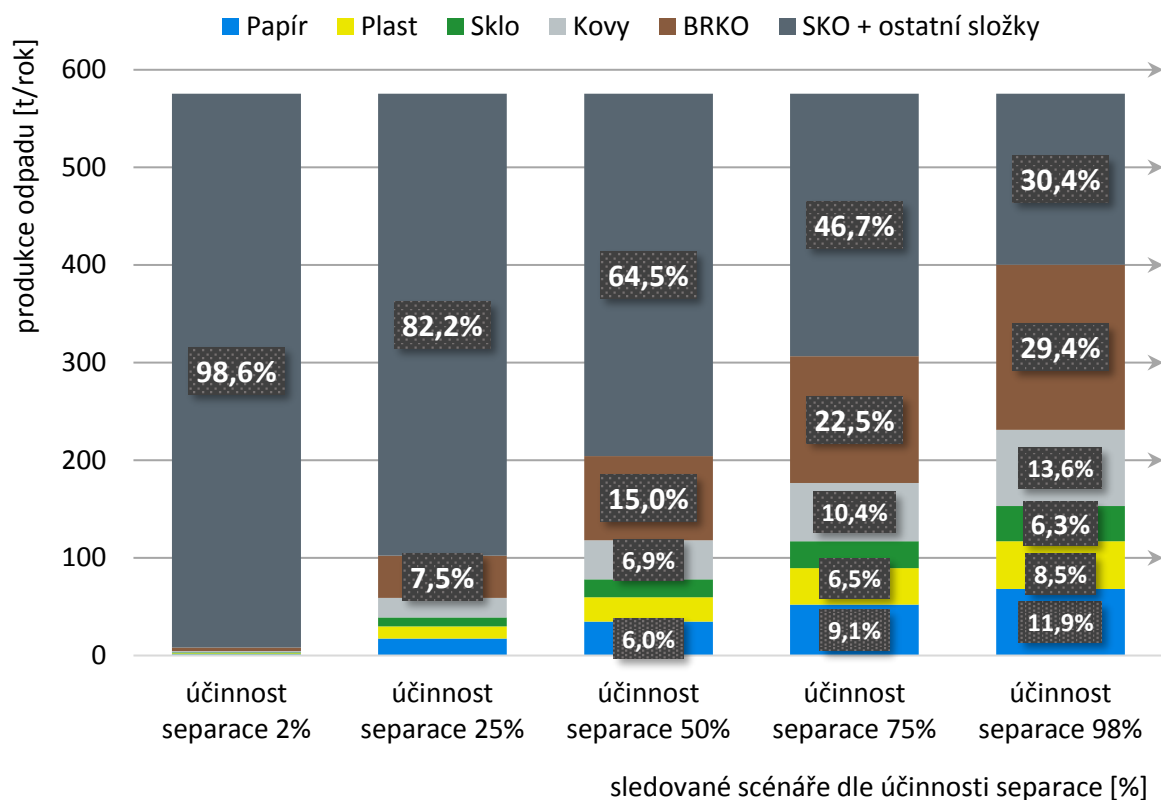
Posledním bodem bude předpoklad provozních nákladů. V Tab. 5.1 jsou zvoleny přibližné provozní náklady zařízení pro úpravu odpadu. Bylo zde zavedeno zjednodušení, a to takové, že zařízení na úpravu skla a kovu má stejné roční náklady jako třídící linka. Volba proběhla na základě návrhu těchto zařízení v pracích [43],[44]. Provozní náklady budou pro všechny obce a účinnosti separace stejné.

| Provozní náklady zařízení pro úpravu odpadu [Kč/rok] | | |
|--|--------------------|------------------------------|
| Položka | Bioplynová stanice | Třídící / dotřídňovací linka |
| Údržba zařízení | 2 900 000 | 2 059 408 |
| Mzdy | 600 000 | 3 036 000 |
| Energie | 297 219 | 415 988 |
| Počet zařízení | 1 | 3 |
| Celkové náklady: | 31 354 199 | |

Tab. 5.1 Předpokládané provozní náklady dle [43],[44]

5.2 Analýza dílčích výsledků

V následující kapitole budou předvedeny dílčí výsledky pro obce Zlínského kraje. Prvním výsledkem je analýza složení komunálního odpadu při různých scénářích míry separace. Tyto údaje jsou zobrazeny na Obr. 5.1, kde je podíl zastoupení SKO a využitelných složek KO popsán hm. % (celková průměrná produkce KO v obci = 100 hm. % u každého sloupce, tudíž celkové průměrné množství KO – 575,4 t/rok zůstává konstantní). Zde je možné vidět při rostoucí účinnosti separace pokles SKO zároveň s růstem množství ostatních složek KO řešených v této práci. Při porovnání s Obr. 2.2, který znázorňuje přibližné složení KO na území ČR v roce 2012, lze říci, že v roce 2012 se míra separace pohybovala mezi 50 a 75 %.



Obr. 5.1 Průměrné složení KO v obcích Zlínského kraje pro jednotlivé scénáře účinnosti separace

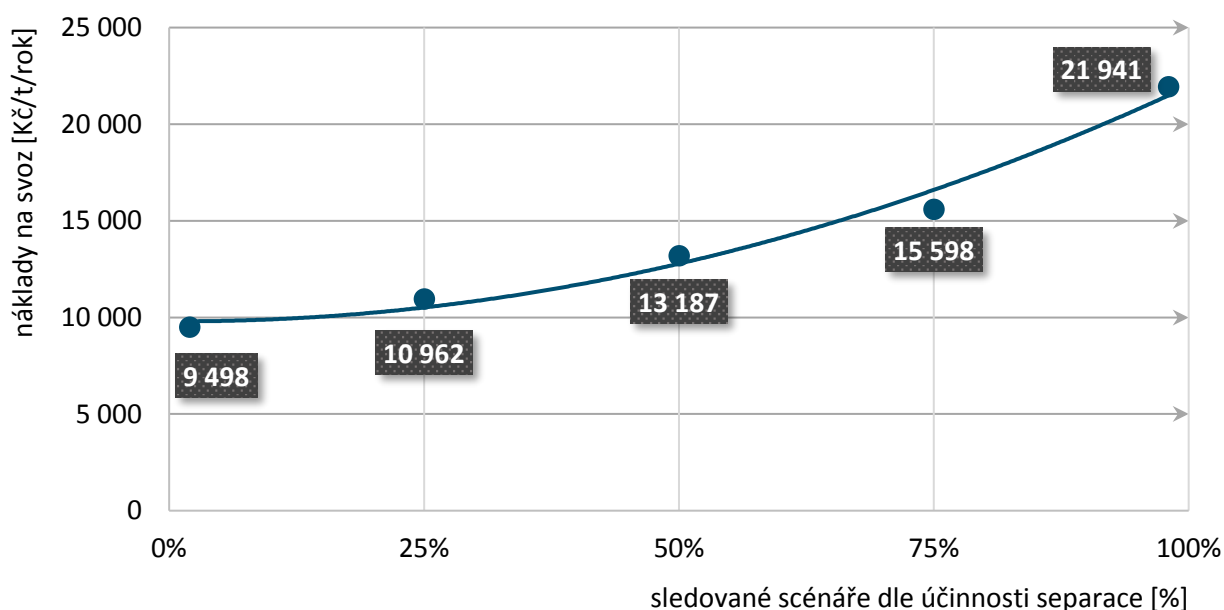
Produkce komunálního odpadu v obcích a hodnoty nájezdových vzdáleností (Tab. 4.4) vypočítané ve vytvořeném nástroji byly na pracovišti vedoucího práce využity jako vstupy do TE modelu pro výpočet ročních svozových nákladů pro separovaný odpad a SKO. Metodika TE modelu je popsána v publikacích [41],[45]. V předchozí kapitole byl popsán předpoklad vlastnictví svozové firmy, vozového parku, speciálního automobilu pro každou složku KO a zařízení pro úpravu odpadu. Zde bude tohoto předpokladu využito pro prvotní výpočet svozových nákladů. V TE modelu byly vygenerovány hodnoty svozových nákladů pro SKO nacházející se v Tab. 5.2.

Pro potřeby výpočtu byl uvažován běžný třinápravový popelářský KUKA vůz s objemem 21 m³. V Tab. 5.2 lze ve výsledných hodnotách vidět velké odchylky v řádu deseti až sta tisíců Kč pro různé obce. Při pohledu na obce s velkým počtem obyvatel a velkou rozlohou (např. Zlín) je možné tyto hodnoty přibližně považovat za vypovídající. Zde použité předpoklady platí – tedy, že velké obce mohou mít vlastní svozovou firmu a vozový park. Důvod je ten, že velká města mají také velkou produkci směsného odpadu, což také vyžaduje velký počet výjezdů svozových automobilů. To souvisí s náklady na mzdy řidičů, paliva, údržby apod. Na druhou stranu pro obce s malou rozlohou a malým počtem obyvatel (kterých je většina) se tento předpoklad ukázal nevhodný (např. obec Hostějov). Důvod je opačný – malé obce produkují malé množství odpadu, což se projeví jen několika výjezdy a ukazuje se pro obce nevýhodné investovat do vlastní svozové firmy, obsluhy atd. Možnosti řešení tohoto problému budou rozebrány v kapitole 5.3. Graf na Obr. 5.2 ukazuje růst průměrných nákladů na svoz SKO

v závislosti na míře separace. Zanesenými body bylo provedeno proložení polynomem 2. stupně a ukazuje se, že se zvyšující separací rostou také svozové náklady.

| Název obce | Počet obyvatel | Rozloha [km ²] | Svozové náklady SKO při daném scénáři účinnosti separace [Kč/t/rok] | | | | |
|-----------------|----------------|----------------------------|---|---------|---------|--------|---------|
| | | | 2% | 25% | 50% | 75% | 98% |
| Zlín | 74947 | 102,8 | 1 319 | 1 266 | 1 189 | 1 259 | 1 194 |
| Velké Karlovice | 2409 | 80,8 | 3 329 | 3 682 | 4 178 | 4 949 | 5 971 |
| Vsetín | 26109 | 57,6 | 878 | 931 | 654 | 725 | 806 |
| Ratiboř | 1863 | 18,7 | 3 782 | 4 265 | 4 955 | 5 943 | 7 286 |
| Růžďka | 915 | 18,5 | 7 572 | 8 556 | 9 973 | 11 991 | 14 726 |
| Malá Bystřice | 306 | 18,3 | 22 394 | 25 353 | 29 614 | 35 628 | 43 820 |
| Salaš | 393 | 17,9 | 10 379 | 12 068 | 14 664 | 18 731 | 25 182 |
| Sulimov | 153 | 2,0 | 34 106 | 39 496 | 47 681 | 60 156 | 79 240 |
| Bořenovice | 189 | 1,6 | 21 027 | 24 553 | 30 029 | 10 021 | 52 547 |
| Hostějov | 40 | 0,9 | 100 768 | 117 393 | 143 044 | 36 527 | 246 426 |
| Horní Lapač | 271 | 0,8 | 14 667 | 17 126 | 20 943 | 26 961 | 36 647 |

Tab. 5.2 Svozové náklady SKO pro několik vybraných obcí



Obr. 5.2 Závislost průměrných svozových nákladů SKO na účinnosti separace

Dále byly vygenerovány náklady na svoz separovaného komunálního odpadu při dvouprocentní účinnosti separace (Tab. 5.3). V tabulce lze vidět, že tyto hodnoty nabývají extrémně vysokých hodnot v řádu jednotek až desítek miliónů Kč/t. Důvod spočívá již ve zmíněném předpokladu vlastnictví speciálního vozu pro každou složku zvlášť. Tyto hodnoty byly označeny jako nevypovídající a nastala změna předpokladu. Obce nebudou vlastnit vůz pro každou složku zvlášť, ale budou vlastnit jeden vůz určený pro svoz SKO a druhý vůz pro svoz všech ostatních separovaných složek. V praxi to bude vypadat tak, že vůz svezí např.

plastový odpad, odveze jej na úpravu a ten samý vůz znovu svezí papírový odpad apod. Po změně tohoto předpokladu byl proveden následný výpočet v TE modelu. Vygenerované hodnoty s novým předpokladem jsou ukázány v Tab. 5.4.

| | | | Svozové náklady se speciálním vozem pro každou složku KO při scénáři účinnosti separace 2% [Kč/t/rok] | | | | |
|-----------------|----------------|---------------|---|------------|------------|------------|------------|
| Název obce | Počet obyvatel | Rozloha [km²] | Papír | Plast | Sklo | Kovy | BIO |
| Zlín | 74947 | 102,8 | 18 651 | 30 826 | 43 494 | 15 616 | 11 715 |
| Velké Karlovice | 2409 | 80,8 | 907 850 | 1 575 712 | 1 897 019 | 1 577 537 | 550 219 |
| Vsetín | 26109 | 57,6 | 83 847 | 145 529 | 175 075 | 145 536 | 50 836 |
| Ratiboř | 1863 | 18,7 | 1 173 524 | 2 036 829 | 2 452 163 | 2 039 188 | 711 235 |
| Růžďka | 915 | 18,5 | 2 389 368 | 4 147 112 | 4 992 758 | 4 151 915 | 1 448 120 |
| Malá Bystřice | 306 | 18,3 | 7 144 671 | 12 400 664 | 14 929 309 | 12 415 025 | 4 330 158 |
| Salaš | 393 | 17,9 | 5 562 992 | 6 176 402 | 9 437 610 | 3 018 621 | 1 661 936 |
| Sulimov | 153 | 2,0 | 15 176 151 | 10 186 833 | 22 638 989 | 17 707 995 | 5 052 260 |
| Bořenovice | 189 | 1,6 | 9 419 874 | 13 425 531 | 17 814 343 | 26 079 956 | 2 346 078 |
| Hostějov | 40 | 0,9 | 54 651 379 | 60 677 571 | 92 715 996 | 29 655 228 | 16 327 019 |
| Horní Lapač | 271 | 0,8 | 6 569 550 | 60 677 522 | 12 423 969 | 18 188 523 | 1 636 188 |

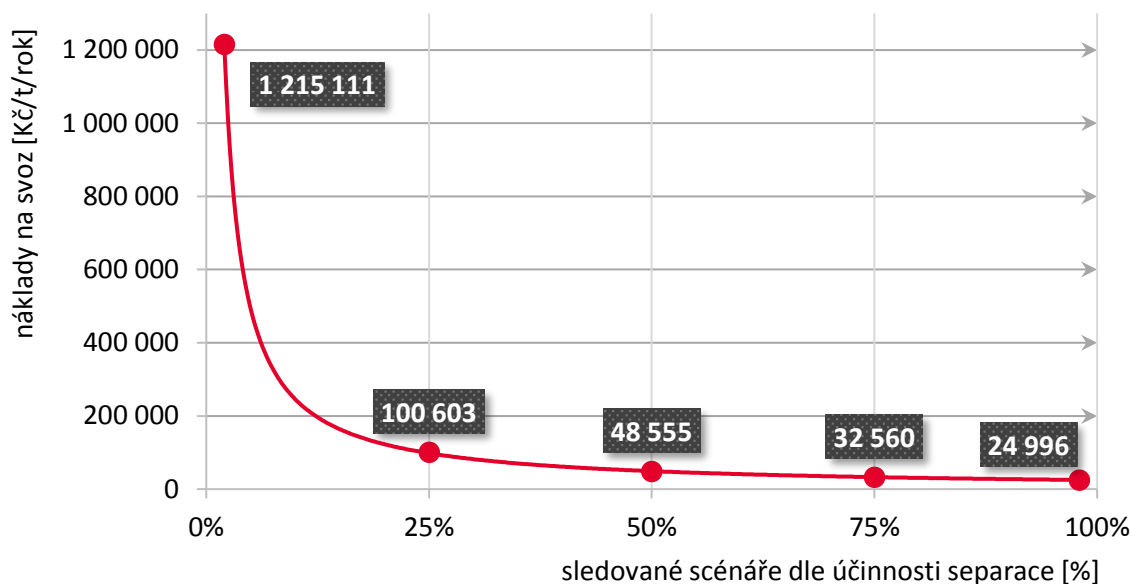
Tab. 5.3 Svozové náklady separovaného odpadu při účinnosti separace 2 %

| | | | Svozové náklady se společným vozem pro všechny složky KO při daném scénáři účinnosti separace [Kč/t/rok] | | | | |
|-----------------|----------------|---------------|--|-----------|---------|---------|---------|
| Název obce | Počet obyvatel | Rozloha [km²] | 2% | 25% | 50% | 75% | 98% |
| Zlín | 74947 | 102,8 | 6 045 | 1 367 | 1 887 | 2 100 | 2 372 |
| Velké Karlovice | 2409 | 80,8 | 345 334 | 27 960 | 14 390 | 10 020 | 8 111 |
| Vsetín | 26109 | 57,6 | 32 020 | 2 811 | 1 700 | 1 438 | 2 051 |
| Ratiboř | 1863 | 18,7 | 446 243 | 35 794 | 18 004 | 12 109 | 9 376 |
| Růžďka | 915 | 18,5 | 908 578 | 72 786 | 36 493 | 24 446 | 18 811 |
| Malá Bystřice | 306 | 18,3 | 2 716 819 | 217 459 | 108 843 | 72 668 | 55 718 |
| Salaš | 393 | 17,9 | 1 284 056 | 102 819 | 51 504 | 34 455 | 26 465 |
| Sulimov | 153 | 2,0 | 4 625 051 | 370 008 | 185 040 | 123 389 | 94 437 |
| Bořenovice | 189 | 1,6 | 3 634 995 | 290 802 | 145 427 | 96 972 | 74 232 |
| Hostějov | 40 | 0,9 | 12 613 536 | 1 009 088 | 504 550 | 336 370 | 257 429 |
| Horní Lapač | 271 | 0,8 | 2 535 085 | 1 009 086 | 101 432 | 67 633 | 51 770 |

Tab. 5.4 Svozové náklady separovaného odpadu se společným vozem

Změna předpokladu vedla k radikální změně výsledných hodnot. Nové hodnoty jsou společné pro všechny složky KO a jsou mnohem vypovídající než hodnoty předešlé. Lze vidět, že když obec používá společný vůz, tak jsou náklady přijatelnější. Přesto stále pro malé obce platí nevýhoda investic do vlastních prostředků. Aplikuje se zde stejné vysvětlení jako v případě svozu SKO (malé obce produkují malé množství odpadu, což se projeví jen několika

výjezdy a ukazuje se pro obce nevýhodné investovat do vlastní svozové firmy, obsluhy atd.). Možnosti řešení tohoto problému budou rozebrány v kapitole 5.3. Stejně jak v předchozím případě byly průměrné hodnoty zaneseny do grafu na Obr. 5.3 a proloženy mocninnou křivkou. Oproti nákladům na svoz SKO se zde ukazuje, že trend průměrných nákladů na svoz separovaného KO je s rostoucí mírou separace klesající.



Obr. 5.3 Závislost průměrných svozových nákladů sep. KO na účinnosti separace

5.2.1 Celkové náklady

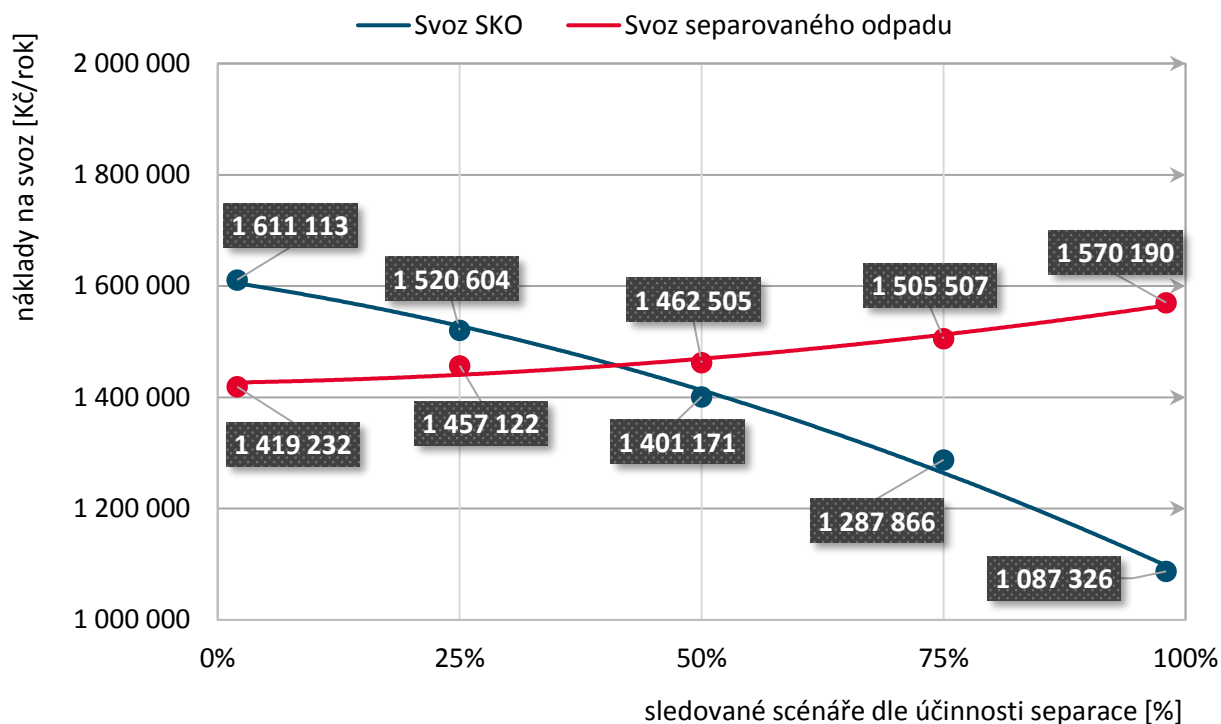
Výše jsou popsány roční náklady v Kč/t/rok. Nyní je potřeba získat celkové roční náklady pro svoz KO. Pro získání celkových nákladů jsou použity jednoduché vztahy (5.1) a (5.2).

$$S_{SKO} = C_{SKO\eta} \cdot M_{SKO_obec} , \quad (5.1)$$

kde S_{SKO} svozové náklady SKO v obci Zlínského kraje [Kč/rok],
 $C_{SKO\eta}$ náklady na svoz 1 tuny SKO při dané účinnosti separace [Kč/t/rok].

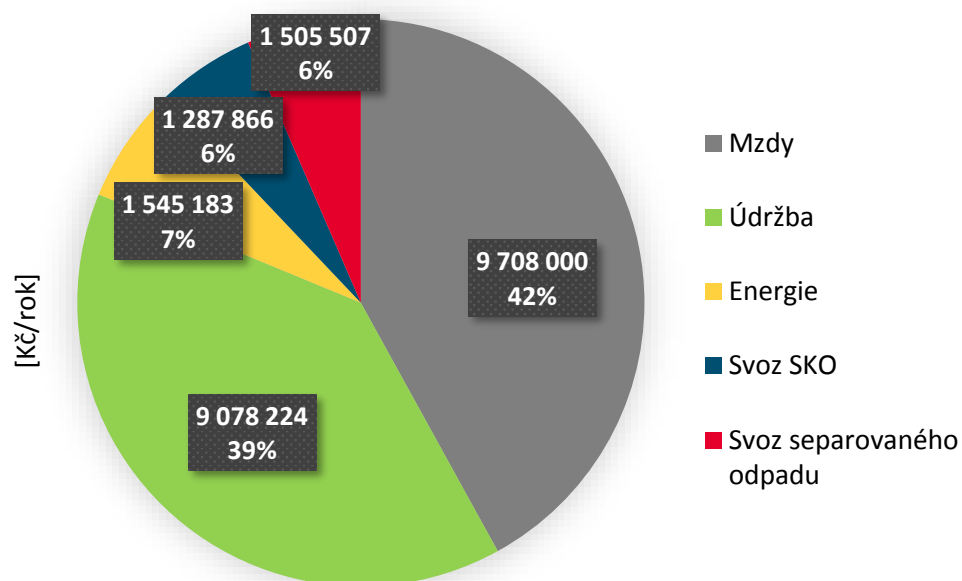
$$S_{iSEP} = C_{SEP\eta} \cdot M_{iSEP_obec} , \quad (5.2)$$

kde S_{iSEP} svozové náklady separované složky odpadu v obci [Kč/rok],
 $C_{SEP\eta}$ náklady na svoz 1 tuny separovaného KO [Kč/t/rok].

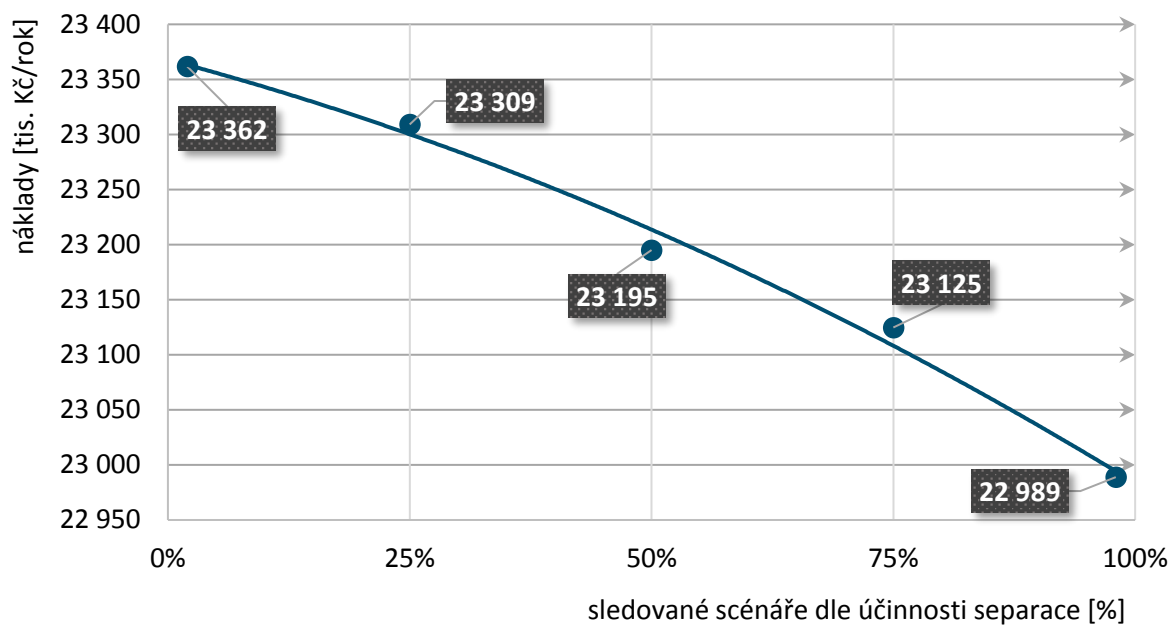


Obr. 5.4 Porovnání průměrných ročních nákladů na svoz SKO a separovaného odpadu

Výsledné svozové náklady byly zaneseny do grafu na Obr. 5.4 a proloženy křivkami. V grafu lze vidět, že celkové náklady na svoz SKO při zvyšující se míře separace klesají za cenu mírného nárůstu nákladů na svoz separovaného odpadu. Celkové náklady na svoz proto s rostoucí účinností separace klesají, rozdíl při 2 a 98 % separaci však nečiní dramatický rozdíl (přibližně 400 000 Kč). Následně jsou k těmto svozovým nákladům přičteny náklady na provoz zařízení pro úpravu odpadu z Tab. 5.1. Pro znázornění byl vybrán koláčový graf (Obr. 5.5), na kterém je lze vidět jednotlivé výdajové toky. Vybrána byla míra separace 75 %, protože se nejvíce blíží míře separaci v praxi. Z grafu je patrné, že při současných předpokladech mají největší podíl na výdajích údržba zařízení a náklady na mzdy zaměstnanců. Poté následují výdaje na svoz odpadu a výdaje energetické, které se svými hodnotami vyrovnají. Celkové náklady pro ostatní scénáře jsou zobrazeny na Obr. 5.6.



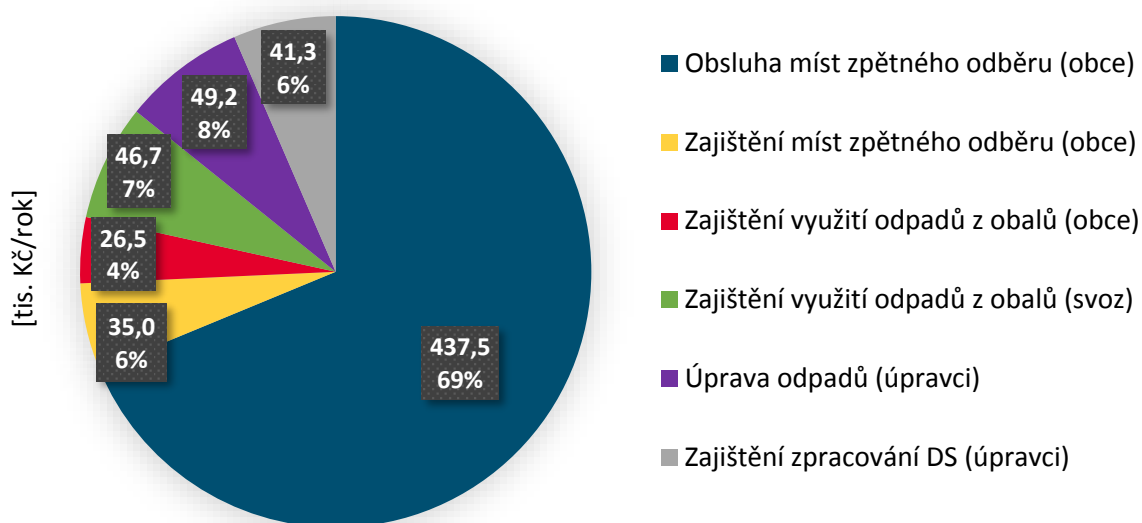
Obr. 5.5 Celkové průměrné náklady v obcích Zlínského kraje při scénáři míry separace 75 %



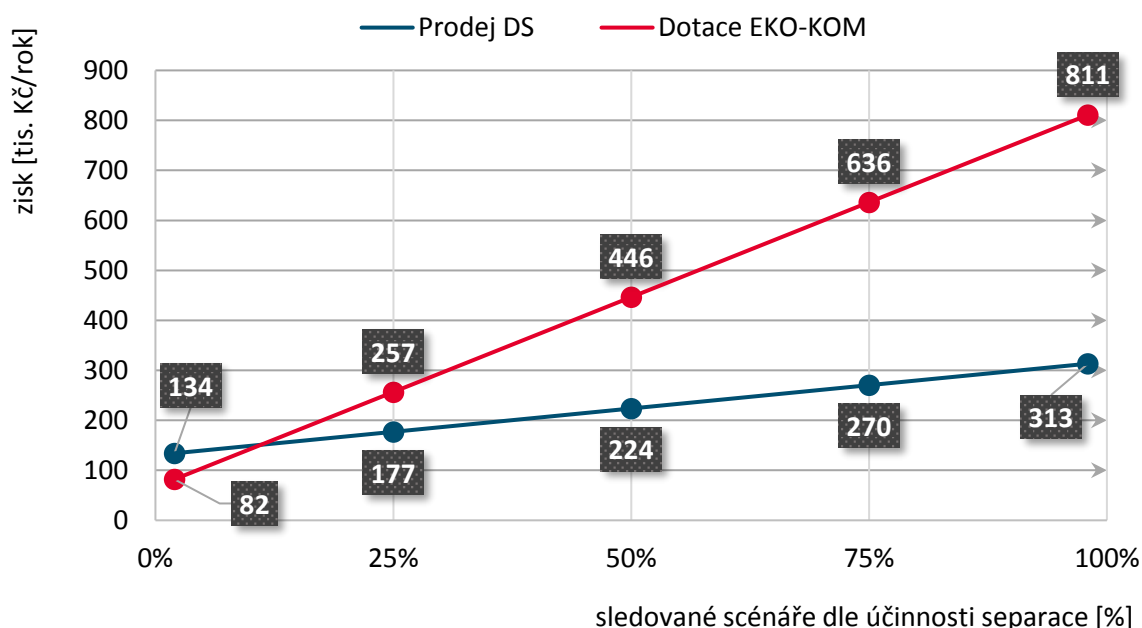
Obr. 5.6 Celkové průměrné náklady obcí při různých scénářích účinnosti separace

5.2.2 Celkové zisky

V části práce, která se zabývala popisem nástroje, byl ukázán postup výpočtů použitých pro vyhodnocení zisků z prodeje DS a dotací ze systému EKO-KOM. Jako první bude ukázán na Obr. 5.7 výsledné dotace systému EKO-KOM – podobně pro účinnost separace 75 %. Zde lze vidět procentuální zastoupení jednotlivých složek odměn a také jejich hodnoty v tis. Kč/rok. Jak již bylo zmíněno, bylo předpokládáno, že každá obec vlastní jak svozovou firmu, tak i zařízení na úpravu odpadu. Tento předpoklad se projeví v dotacích EKO-KOM, protože veškeré odměny jsou cíleny obcím, které tyto prostředky vlastní. Na druhém grafu (Obr. 5.8) je znázorněn zisk z prodeje DS a odměn systému EKO-KOM. Lze vidět, že tyto zisky rostou lineárně v závislosti na zvětšující se účinnosti separace.

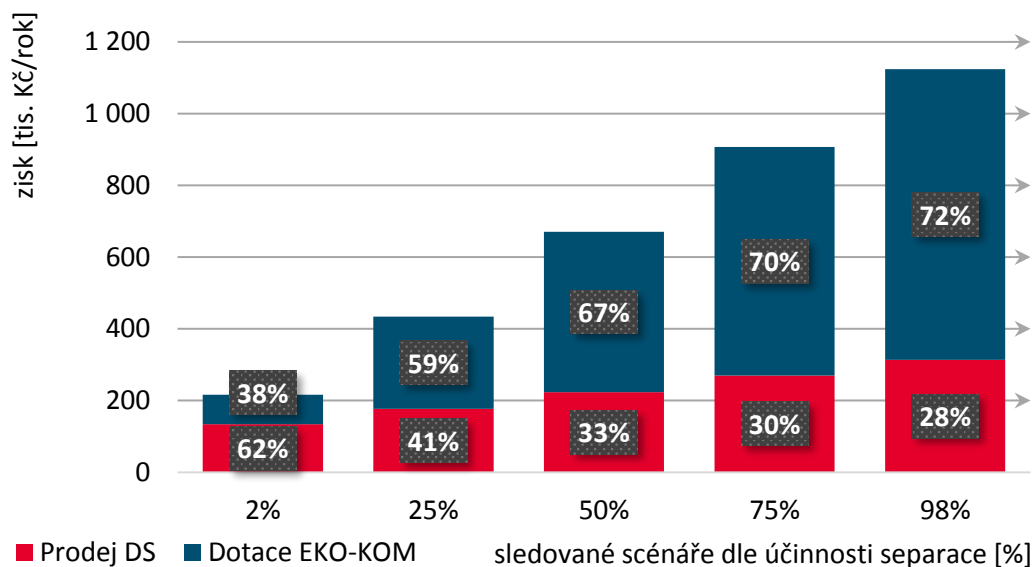


Obr. 5.7 Dotace ze systému EKO-KOM při míře separace 75 %



Obr. 5.8 Průměrný zisk obcí z prodeje DS a odměn EKO-KOM

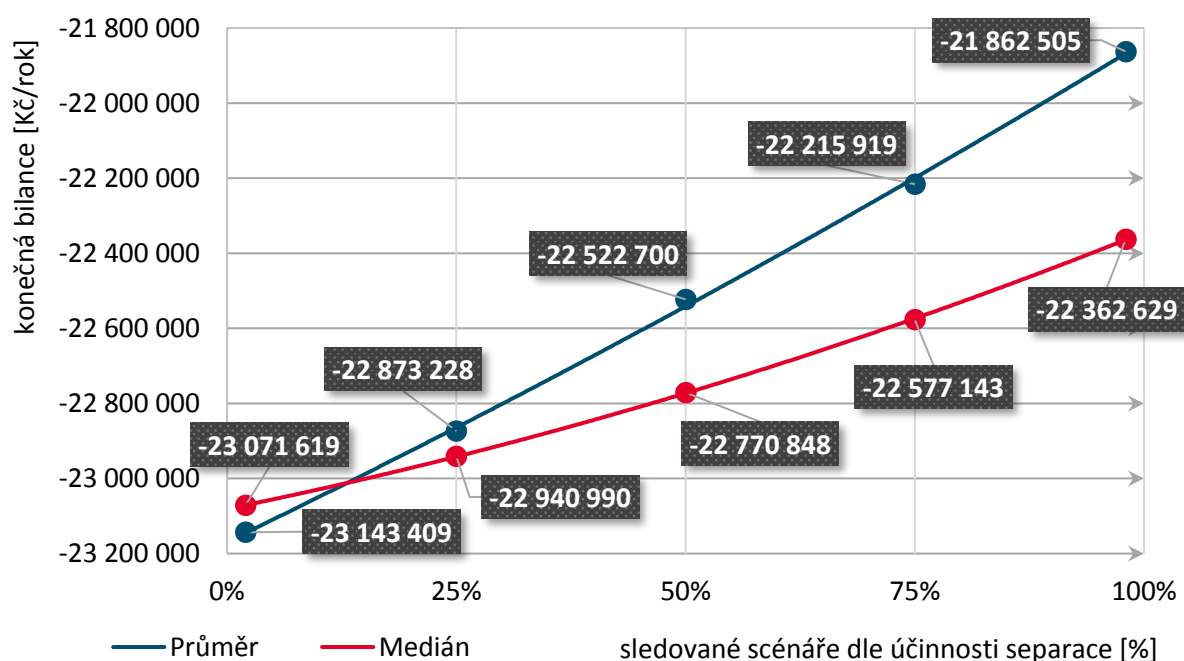
Na Obr. 5.9 je ukázán celkový průměrný zisk obcí, který je navíc pro porovnání rozdělen na zisk z prodeje DS a zisk z dotací systému EKO-KOM. Zde je vidět, že při malých účinnostech separace jsou si téměř rovny nebo dokonce zisky z prodeje DS převyšují dotace (míra separace 2 %). Při vyšších účinnostech separace již převyšují dotace ze systému EKO-KOM.



Obr. 5.9 Celkové průměrné zisky obcí Zlínského kraje

5.3 Výsledky analýzy

Analýza sloužila k odhadu a porovnání nákladů na získávání druhotných surovin z SKO a separovaného KO při různých scénářích míry separace využitelných složek z SKO u producentů (občanů). Hlavním výstupem z této analýzy je celková průměrná roční bilance zisků a nákladů všech obcí ve Zlínském kraji. Výsledky jsou znázorněny na Obr. 1.1.



Obr. 5.10 Porovnání výsledků analýzy

Z výsledných hodnot lze usoudit, že se zvyšující účinností separace klesají celkové ztráty vynaložené na nakládání s KO. To je podmíněno především narůstajícími hodnotami dotací ze systému EKO-KOM (viz Obr. 5.9), které jsou vypisovány primárně (jak se ukázalo na Obr. 5.7) na základě množství vyseparovaného KO. Je možné vidět, že při 2 % separaci jsou tyto dotace velmi malé. V konečném vyhodnocení se ukázalo, že celková bilance všech obcí při všech scénářích separace se nachází v záporných hodnotách (výjimku činí Zlín při 98 % účinnosti separace – celková bilance je zde kladná, tedy 1 412 457 Kč/rok). To způsobují hlavně vysoké náklady, které vycházejí z předpokladu, že každá obec vlastní svoje provozní zařízení a další prostředky pro sběr a svoz odpadu (svozová firmy, vozový park).

5.4 Náměty na navazující práce

Z analýzy výsledků vyplývá, že dle daných předpokladů popsaných v kapitole 5.1 se pro malé obce nevyplatí, aby činnosti nakládání s odpady provozovali ze svých vlastních prostředků. Velké obce s velkou produkcí odpadu však z této analýzy vychází mnohem lépe (rozdíl v desítkách miliónů). Vzhledem k tomu, že každá obec má ze zákona o odpadech povinnost nakládat s KO se zde pro obce nabízejí následující možnosti:

1. **Tzv. dry recyclables** – alternativní způsob odděleného sběru suchých složek KO (papír, plast, sklo, kov) používaný v různých zemích světa (např. Irsko). Tímto způsobem probíhá sběr do společné nádoby, který pak následuje systém dotřídění a materiálové využití surovin. Zavedení tohoto způsobu by sebou však neslo vysoké nároky na změnu způsobů nakládání s odpady. Problematika tohoto způsobu sběru je rozebrána v [46].
2. **Spádová oblast** – spádovou oblastí se myslí oblast většího množství obcí, kterou obsluhuje jedno zařízení a jedna svozová firma. Tento způsob se významně projeví v poklesu svozových a provozních nákladů, protože obce již nebudou muset do těchto vlastních prostředků investovat, budou mít pouze jistou finanční dohodu s danými firmami zabývajícími se svozem a úpravou odpadu v dané spádové oblasti. V praxi je právě takovýto způsob sběru, úpravy a využití odpadu zavedený.
3. **Společný vozový park** – jak již bylo zmíněno, vlastnictví speciálního svozového automobilu pro každou separovanou složku KO se projeví extrémními náklady na jeho svoz (viz Tab. 5.3). Proto dává smysl mít společný vůz pro více separovaných složek. To se projeví značným poklesem nákladů na potřebné mzdy, na investice do koupě vozů, nákupu paliva a údržbu automobilů. Tento způsob využití vozů je praxi také zavedený a využíváný.

Uvedené způsoby 2. a 3. je možné v praxi kombinovat a tím díky efektivnějšímu využití popelářských vozů a méně častým svozům dosáhnout ještě větších finančních úspor.

6 ZÁVĚR

V předkládané práci byla rozebrána problematika odpadového hospodářství na území České republiky. Práce ukázala nároky, které je souvisí s produkcí druhotných surovin z komunálního odpadu. První kapitoly se zabývaly popisem české legislativy a vysvětlením pojmů používaných ve spojení s nakládáním s komunálními odpady. Výsledkem dalších kapitol je rešerše současných způsobů sběru, svozu, úpravy a využití nebo odstranění komunálního odpadu dle hierarchie nakládání s odpady. Ukázalo se, že hlavními prvky využití odpadu v ČR je energetické využití a materiálové využití. Z práce vyplynulo, že vzhledem k blížícímu se zákazu skládkování, které v ČR v současnosti dominuje se v následující letech Česká republika bude muset zabývat zvýšením využívání produkovaného komunálního odpadu.

Následovala praktická část práce, která měla za cíl posouzení finančních nákladů potřebných pro produkci druhotných surovin. Byl vytvořen výpočtový nástroj v softwaru MS Excel, který je přílohou této práce a pomocí kterého byly odhadnuty náklady pro pět možných scénářů různých účinností separace na území Zlínského kraje. Ukázalo se, že nejvýznamnějšími aspekty nakládání s odpadem je provoz potřebných zařízení na úpravu odpadu a výdaje na jeho sběr a svoz. Proto je důležité správně posoudit svozovou úlohu a zamyslet se nad investicemi do těchto zařízení. Výsledná bilance ukázala, že při daných předpokladech je pro téměř všechny obce nakládání s odpadem finančně ztrátové.

Výsledek práce ukázal, že svou strukturou složité a vysoké dotace ze systému EKO-KOM, který obce a firmy odměňuje za sběr, svoz a úpravu odpadu, jsou jejich hlavním ziskem převyšujícím i prodej výsledné druhotné suroviny. Současně zavedený systém produkce druhotných surovin z komunálního odpadu by bez těchto dotací byl výrazně ztrátový. Nejvyšším příjmem obcí se zde ukázaly odměny za obsluhu míst zpětného odběru odpadu. Kvůli zvýšení efektivity současného systému je tedy potřeba, aby se obce snažily o co největší účinnosti separace využitelných složek z komunálního odpadu. Důvod je zvyšování dotací od společnosti EKO-KOM a pokles ztrát právě při zvyšování míry separace KO.

Problémy nad rámec předkládané práce jsou vhodné posouzení svozové úlohy na krajské úrovni a odstranění předpokladů a zjednodušení pro výpočet nákladů na svoz komunálního odpadu použitých pro tuto práci. V rámci této práce byly definovány další náměty pro detailnější posouzení nakládání s jednotlivými složkami komunálního odpadu, identifikace možných způsobů nakládání s těmito složkami a možností jejich využití za účelem redukce skládkovaného množství odpadu. Tyto náměty mohou být řešeny v navazujícím studijním programu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Nakládání s odpadem v EU: fakta a čísla* [online]. [vid. 2019-05-14]. Dostupné z:
<http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180328STO00751/nakladani-s-odpadem-v-eu-fakta-a-cisla-infografika>
- [2] MŽP. *Nová odpadová legislativa zavádí evropské cíle recyklace komunálních odpadů a motivuje obce i občany k třídění* [online]. 2019 [vid. 2019-05-20]. Dostupné z:
https://www.mzp.cz/cz/news_09042019-nova-odpadova-legislativa-recyklace-komunalnich-odpadu-trideni
- [3] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Circular Economy* [online]. [vid. 2019-05-21]. Dostupné z:
http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- [4] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Oběhové hospodářství: definice, význam a přínos* [online]. 2018 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z:
<http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20151201STO05603/obehove-hospodarstvi-definice-vyznam-a-prinos>
- [5] MŽP. *Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů* [online]. 2001. Dostupné z:
http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z_185_2001.pdf
- [6] MŽP. *Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 - 2024* [online]. 2014. Dostupné z:
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/\\$FILE/ODDP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/ODDP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [7] WILDOVÁ, Kristýna. *Mechanicko-biologické způsoby zpracování odpadu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D., 2017.
- [8] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic* [online]. 2008 [vid. 2019-05-05]. Dostupné z:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- [9] MŽP. *Vyhláška č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů* [online]. 2016. Dostupné z:
https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/0BFE53E10EC910E2C12580A7004BBD41/%24file/V_93_2016.pdf
- [10] MŽP. *Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady* [online]. 2005. Dostupné z:
https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/96F060C6A3D87823C125708F00317B16/%24file/V_294_2005.pdf
- [11] MŽP. *Zákon č. 477/2001 Sb. o obalech a o změně některých zákonů* [online]. 2001 [vid. 2019-05-16]. Dostupné z:
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obaly/\\$FILE/ODDP-4772001_zakon_o_obalech.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obaly/$FILE/ODDP-4772001_zakon_o_obalech.pdf)
- [12] MŽP. *Statistická ročenka životního prostředí ČR* [online]. 2017. Dostupné z:
https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/04/Statisticka_Rocenka_ZP_CR_2017.pdf
- [13] ČSÚ. *Produkce, využití a odstranění odpadů - 2017* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné

- z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2017>
- [14] CENIA. *Nízkoodpadové technologie* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=nizkoodpadove_technologie&site=odpady
- [15] JEŘÁBEK, Karel, R. KAMPF a L. BARTUŠKA. *Logistické minimum*. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2016. ISBN 978-80-7468-073-1.
- [16] EKO-KOM. *Metodika vyplnění čtvrtletního výkazu* [online]. 2016 [vid. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obce/Metodika_vyplneni_vykazu_od_3Q_2016.pdf
- [17] ELKOPLAST. *Podzemní kontejnery* [online]. [vid. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.elkoplast.cz/podzemni-kontejnery-2>
- [18] MARIA, Francesco Di, C. MICALE, E. MORETTINI, S. LUCIANO a R. DAMIANO. Improvement of the management of residual waste in areas without thermal treatment facilities: A life cycle analysis of an Italian management district. *Waste Management, Volume 44* [online]. 2015, 206–2015. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15300295?via%3Dihub>
- [19] SENRO. *Optical (NIR) separators* [online]. [vid. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://senro.eu/en/optical-nir-separators/>
- [20] WRAP. *WRAP MDD018/23 WEEE Separation techniques* [online]. 2008. Dostupné z: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Titech NIR Trial Report final.pdf>
- [21] BEŇO, Zdeněk. *Recyklace : efektivní způsoby zpracování odpadů*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-214-4240-5.
- [22] STEO. *Proces MBÚ* [online]. [vid. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/mbu-a-jine/mbu/proces-mbu>
- [23] SCHWAKOV. *Recyklace plastu* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.schwakov.cz/cs/recyklace-plastu>
- [24] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBDHODU. *Strategický analytický dokument pro oblast využívání druhotných surovin* [online]. 2011. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/45560/51384/586455/priloha001.pdf>
- [25] JEDLIČKOVÁ, Kateřina. *Využitelnost plastových materiálů z komunálních odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D., 2018.
- [26] TRANSFORM A.S. *Produkty* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.recyklace.cz/produkty>
- [27] FERDAN, Tomáš. *Efektivní využití komunálních odpadů v energetice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 91 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c., 2017.
- [28] SAKO. *Energetické využití odpadu* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [29] ČEZ. *Co je ZEVO* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>
- [30] BALÁŠ, Marek, Z. SKÁLA a M. LISÝ. *Spalovny odpadu – odpad jako palivo* [online]. 2014 [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>

- [31] KROPÁČ, Jiří. *Technicko-ekonomická analýza dat z provozu moderní spalovny komunálních odpadů*. Brno: Diplomová práce na FSI VUT v Brně. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D., 2008.
- [32] DOMANSKÝ, David. *Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Beňo., 2009.
- [33] *Česká bioplynová asociace* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>
- [34] AGRIKOMP. *Naučná stezka bioplynovou stanicí Bořetice I.* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: https://agrikomp.com/images/cs-CZ/pdf/Nauna_stezka_Boetice_I.pdf
- [35] JIŘÍČKOVÁ, Jitka. *Problematika komunálních odpadů v ČR*. Praha: Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta Katedra chemie a didaktiky chemie, Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Hally, DrSc., 2006.
- [36] CEHO. *Seznam skládek* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://mapaskladek.aspone.cz/List>
- [37] EKO-KOM. *Jak systém funguje* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/klienti/jak-system-funguje>
- [38] EKO-KOM. *Systém sběru a recyklace obalových odpadů* [online]. 2019 [vid. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/ostatni/o-spolecnosti/system-eko-kom/o-systemu>
- [39] CENIA. *Česká informační agentura životního prostředí* [online]. 2019 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/o-cenia/profil-organizace/>
- [40] ŠOMPLÁK, R., L. ZAVÍRALOVÁ, J. KROPÁČ a M. PAVLAS. *Justýna – nástroj pro odhad produkce a výhřevnosti komunálních odpadů na úrovni mikroregionů; Týden výzkumu a inovací pro praxi TVIP 2015: sborník příspěvků* [online]. 2015. ISBN 978-80-85990-26-3. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2015/prispevky/017.pdf>
- [41] GREGOR, Jiří. *Pokročilé modely logistiky v oblasti odpadového hospodářství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 180 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c., 2019.
- [42] EKO-KOM. *Standardy složení komunálních odpadů a podílu obalové složky* [online]. 2019 [vid. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obce/zmeny_201812/Priloha_4_Standardy_slozeni_KO_od_1Q_2019.pdf
- [43] GUŠTARA, Dominik. *Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Gregor, 2017.
- [44] KOCIÁN, Oldřich. *Návrh bioplynové stanice*. Brno: vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lucie Houdková, 2009.
- [45] GREGOR, Jiří, R. ŠOMPLÁK a M. PAVLAS. *Transportation cost as an integral part of supply chain optimisation in the field of waste management*. 2017. ISBN 978-88-95608-47-1.
- [46] HARNOVÁ, Veronika. *Efektivní způsoby úpravy odpadů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 50 s. 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D., 2018.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|----------|---|
| BRKO | biologicky rozložitelný komunální odpad |
| ČR | Česká republika |
| DS | druhotná surovina |
| EU | Evropská unie |
| EVO | energetické využití odpadu |
| HDPE | high density polyethylene |
| KO | komunální odpad |
| MBÚ | mechanicko-biologická úprava |
| MŽP | Ministerstvo životního prostředí |
| NIR | near infrared (blízká infračervená spektroskopie) |
| ORP | obec s rozšířenou působností |
| PE | polyethylen |
| PET | polyethylentereftalát |
| POH ČR | Plán odpadového hospodářství České republiky |
| PP | polypropylen |
| PS | polystyren |
| PVC | polyvinylchlorid |
| SKO | směsný komunální odpad |
| TAP | tuhé alternativní palivo |
| TE model | technicko-ekonomický model |
| ZEVO | zařízení na energetické využití odpadu |

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A INDEXŮ

| Symbol | Význam | Jednotka |
|-------------------|--|------------|
| M_{iTOT} | celková produkce složky v KO | t/rok |
| M_{iSEP} | množství vybrané separované složky (CENIA) | t/rok |
| M_{iSKO} | hmotnostní podíl složky v SKO | t/rok |
| w_{iJUST} | procentuální zastoupení vybraných složek v SKO (JUSTÝNA) | $hm. \%$ |
| m_{SKO} | celková produkce SKO (CENIA) | t/rok |
| M_{skoTOT} | celková produkce zbylého SKO | t/rok |
| $M_{iSEP\eta}$ | množství vyseparovaných složek KO při dané účinnosti | t/rok |
| η | účinnost separace u producenta | $hm. \%$ |
| $M_{iSKO\eta}$ | zbylé množství složky v SKO při dané účinnosti | t/rok |
| $M_{SKO\eta}$ | celková produkce SKO při dané účinnosti | t/rok |
| M_{iSEP_DS} | množství DS ze separované složky i při dané účinnosti | t/rok |
| Y_i | výtěžnost dotřídovací linky pro danou separovanou složku i | $hm. \%$ |
| M_{iSKO_DS} | množství DS složky i z SKO při dané účinnosti | t/rok |
| Y_{SKO} | výtěžnost DS teoretickým tříděním SKO | $hm. \%$ |
| M_{iSEP_OUT} | množství výmětu z dané separované složky při dané účinnosti | t/rok |
| M_{iSKO_OUT} | množství výmětu SKO při dané účinnosti | t/rok |
| H_{ORP} | hustota zalidnění ORP | $ob./km^2$ |
| N_{ORP} | počet obyvatel v ORP | — |
| S_{ORP} | rozloha ORP | km^2 |
| M_{iSEP_obec} | množství separované složek a SKO v obci Zlínského kraje | t/rok |
| M_{SKO_obec} | množství zbylého SKO v obci Zlínského kraje | t/rok |
| n_{obec} | počet obyvatel v obci kraje | — |
| M_{iDS_obec} | množství získané druhotné suroviny v obci Zlínského kraje | t/rok |
| L_{SEP_obec} | nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad v obci | km |
| a_η | směrnice přímky dané účinnosti separace | km^{-1} |
| S_{obec} | rozloha obce Zlínského kraje | km^2 |
| b | počáteční hodnota nájezdové vzdálenosti | km |
| L_{98SKO_obec} | nájezdová vzdálenost pro SKO v obci při 98 % účinnosti separace | km |
| L_{98SEP_obec} | nájezdová vzdálenost pro separovaný odpad v obci při 98 % účinnosti separace | km |
| L_{SKO_obec} | zvětšená vzdálenost pro SKO v obci o 5 % oproti vzdáleností s větší účinností separace | km |

| | | |
|----------------------|---|------------|
| $L_{\eta SKO_obec}$ | nájezdová vzdálenost s větší účinností separace | km |
| Z_{DSi} | zisk z prodeje DS při dané účinnosti separace | Kč/rok |
| C_i | cena za danou druhotnou surovinu | Kč/t |
| Z_{E1} | výsledná částka za zajištění míst zpětného odběru | Kč/rok |
| e_{Z1} | základní složka odměny za obsluhu míst zpětného odběru | Kč/ob./rok |
| e_{B1} | bonusová složka odměny za obsluhu míst zpětného odběru | Kč/ob./rok |
| Z_{E2} | výsledná částka za obsluhu míst zpětného odběru | Kč/rok |
| w_i | podíl obalové složky v separovaném odpadu | hm. % |
| e_{i2} | odměna pro danou složku v závislosti na velikosti sídla | Kč/t |
| Z_{E3} | výsledná částka za zajištění využití obalů pro obce | Kč/rok |
| e_{i3} | odměna pro danou složku odpadu | Kč/t |
| Z_{E4} | výsledná částka za zajištění využití obalů pro firmy | Kč/rok |
| e_{i4} | odměna pro danou složku odpadu | Kč/t |
| Z_{E5} | výsledná částka za úpravu odpadu pro firmy | Kč/rok |
| e_{i5} | odměna pro danou složku odpadu | Kč/t |
| Z_{E6} | výsledná částka za zajištění zpracování DS | Kč/rok |
| e_{i6} | odměna za danou složku odpadu | Kč/t |
| S_{SKO} | svozové náklady SKO v obci Zlínského kraje | Kč/rok |
| $C_{SKO\eta}$ | náklady na svoz 1 tuny SKO při dané účinnosti separace | Kč/t/rok |
| S_{iSEP} | svozové náklady separované složky odpadu v obci | Kč/rok |
| $C_{SEP\eta}$ | náklady na svoz 1 tuny separovaného KO | Kč/t/rok |

| Index | Význam |
|--------|---|
| i | vztahující se k dané složce KO |
| ORP | vztahující se k dané ORP |
| $obec$ | vztahující se k dané obci Zlínského kraje |

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1.1 Schématické znázornění oběhového hospodářství [4] | 15 |
| Obr. 2.1 Celková produkce odpadů v územním členění na kraje v r. 2017 [12] | 18 |
| Obr. 2.2 Přibližné složení KO v roce 2012 z pohledu jeho složek [6] | 19 |
| Obr. 2.3 Podíl směsného a KO v územním členění na kraje v r. 2017 [12] | 19 |
| Obr. 2.4 Hierarchie způsobů nakládání s odpady | 22 |
| Obr. 3.1 Nakládání s komunálními odpady v roce 2017 [13] | 23 |
| Obr. 3.2 Schéma nízkoodpadové technologie [14] | 24 |
| Obr. 3.3 Podzemní kontejnery [17] | 25 |
| Obr. 3.4 Schéma automatizované třídící linky [18] | 26 |
| Obr. 3.5 Princip optické NIR separace odpadu [20] | 27 |
| Obr. 3.6 MBÚ - schéma možného provedení [22] | 29 |
| Obr. 3.7 Schéma obvyklého provedení dotřídovací linky [23] | 29 |
| Obr. 3.8 Vývoj nakládání s komunálním odpadem v ČR [13] | 31 |
| Obr. 3.9 Schéma zařízení pro EVO [28] | 33 |
| Obr. 3.10 Schéma bioplynové stanice agriKomp [34] | 35 |
| Obr. 3.11 Způsoby odstraňování odpadu dle přílohy č. 4 k zákonu o odpadech [5] | 36 |
| Obr. 3.12 Rozdělení odměn EKO-KOM | 37 |
| Obr. 4.1 Vybrané složky KO řešené v práci | 38 |
| Obr. 4.2 Průběh výpočtu složení KO | 40 |
| Obr. 4.3 Histogramy rozložení obyvatel | 43 |
| Obr. 4.4 Růst nájezdové vzdálenosti sep. odpadu při daných účinnostech separace | 47 |
| Obr. 5.1 Průměrné složení KO v obcích Zlínského kraje pro jednotlivé scénáře účinnosti separace | 55 |
| Obr. 5.2 Závislost průměrných svozových nákladů SKO na účinnosti separace | 56 |
| Obr. 5.3 Závislost průměrných svozových nákladů sep. KO na účinnosti separace | 58 |
| Obr. 5.4 Porovnání průměrných ročních nákladů na svoz SKO a separovaného odpadu | 59 |
| Obr. 5.5 Celkové průměrné náklady v obcích Zlínského kraje při scénáři míry separace 75 % | 60 |
| Obr. 5.6 Celkové průměrné náklady obcí při různých scénářích účinnosti separace | 60 |
| Obr. 5.7 Dotace ze systému EKO-KOM při míře separace 75 % | 61 |
| Obr. 5.8 Průměrný zisk obcí z prodeje DS a odměn EKO-KOM | 61 |
| Obr. 5.9 Celkové průměrné zisky obcí Zlínského kraje | 62 |
| Obr. 5.10 Porovnání výsledků analýzy | 62 |

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 2.1 Výběr z katalogu odpadů pro potřeby práce [9] | 21 |
| Tab. 3.1 Produkty vyrobené recyklací plastového odpadu [21],[26] | 32 |
| Tab. 3.2 Hodnoty obvyklé výhřevnosti složek KO [30],[31],[32] | 34 |
| Tab. 4.1 Parametry zařízení pro úpravu využitelných KO, příp. zbytkového SKO | 41 |
| Tab. 4.2 Hustoty zalidnění | 44 |
| Tab. 4.3 Vytvořený model pro odhad nájezdových vzdáleností | 46 |
| Tab. 4.4 Hodnoty nájezdových vzdáleností | 48 |
| Tab. 4.5 Zvolené ceny DS použité ve výpočtu | 49 |
| Tab. 4.6 Podíl obalů v odpadu– standardní hodnoty dle společnosti EKO-KOM [42] | 50 |
| Tab. 5.1 Provozní náklady | 54 |
| Tab. 5.2 Svozové náklady SKO pro několik vybraných obcí | 56 |
| Tab. 5.3 Svozové náklady separovaného odpadu při účinnosti separace 2 % | 57 |
| Tab. 5.4 Svozové náklady separovaného odpadu se společným vozem | 57 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Výpočtový nástroj vytvořený v softwaru MS Excel, data jsou anonymizována